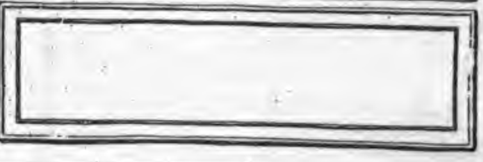
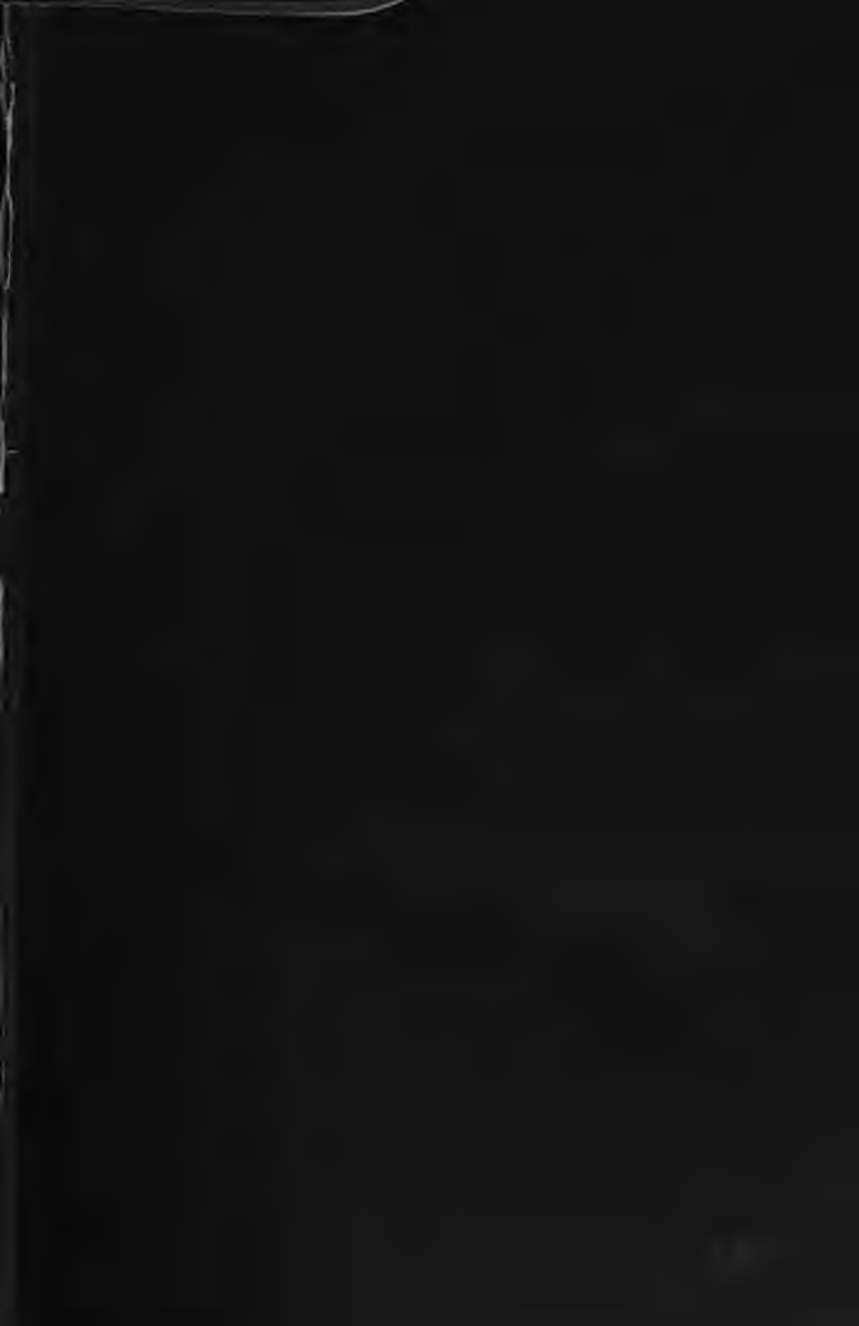

WEBERS NATURWISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK
UC-NRLF
$B 271 190
E. Gerland
Geschichte der Physik


SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
LVX
FIAT
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS





# Geschichte der Physik.

# Geschichte der Physik

von

**Dr. E. Gerland,**

**Dozent für Physik und Elektrotechnik an der Königlichen Bergakademie zu Clausthal i. H.**

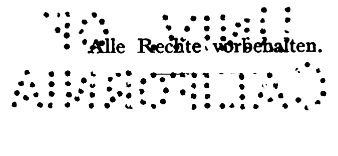


**Mit 72 in den Text gedruckten Abbildungen.**

**Leipzig**

Verlagsbuchhandlung von J. J. Weber

**1892**



# Inhaltsverzeichnis.

# Verbesserungen.

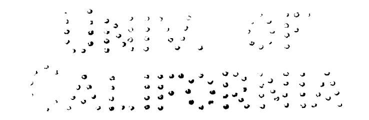
S. 149 Z. 7 v. u. lies: Wiek statt Wyk

S. 155 Z. 5 bis 7 v. u. lies: dass die Schwere im umgekehrten Verhältnis der Quadrate der Entfernungen der einander anziehenden Körper wirken müsse,

S. 265 Z. 9 v. u. lies: den Strom einer Dynamomaschine statt denselben Strom.

# Geschichte der Physik.

---



# Einleitung.

---

Der Anfang der Geschichte der Menschheit verliert sich im Dunkel der Sage und des Mythus. Ehe die Völker die Mittel sich geschaffen hatten, Urkunden ihrer Thaten schriftlich niederzulegen und Zerstörung von ihnen abzuhalten, waren sie bereits in Beziehungen zu einander getreten, hatten unter ihren Angehörigen feste Verhältnisse gebildet, aber auch Kenntnisse gesammelt und ausgetauscht, mit einem Worte, den Grund ihrer politischen und ihrer Kulturgeschichte gelegt. Unter ihren ältesten Kenntnissen waren unzweifelhaft astronomische, wie aus den ihnen gemeinsamen Bezeichnungen vieler Sternbilder, namentlich der des Tierkreises, sich ergiebt, und mit der Himmelskunde dürfte somit die Naturwissenschaft ihren Anfang genommen haben. Die Anfänge der Mathematik und der Physik reichen ebenfalls weit zurück, wir begegnen ihnen in den ältesten Überlieferungen, chemische Kenntnisse gesellen sich bald hinzu und so ist eine Betrachtung der Geschichte der Physik im Altertum bis in das Mittelalter nicht möglich,



wenn sie nicht zugleich auf die genannten Wissenschaften Rücksicht nimmt. Erst vom Anfange des 17. Jahrhunderts an beginnt sich die Physik mehr und mehr ins Breite auszudehnen, und in Folge davon sich auf den stofflichen Umfang zu beschränken, den man ihr jetzt zuschreibt. Der an Entdeckungen reichen Zeit folgt im 18. Jahrhundert eine mehr der Verarbeitung der neuen Errungenschaften gewidmete, der sich dann unser Jahrhundert als ein zweiter Zeitraum grosser und bedeutungsvoller Entdeckungen anschliesst.

Ganz andere Forderungen stellt deshalb die Naturwissenschaft des Altertums an ihre Jünger, als die der Neuzeit. Jn jenem konnte ein einzelner Mann das vorhandene Wissen voll beherrschen und seine Thätigkeit richtete sich mehr auf Herleitung und Gruppierung, als auf Erweiterung desselben, in dieser zieht sich der Einzelne auf einen Wissenszweig zurück und so konnten nicht wenige Forscher der Neuzeit die Wissenschaft, die wir jetzt Physik nennen, mehr fördern, als die ganze antike Welt und das frühe Mittelalter zusammen dies gethan haben. Wenn sich ferner in jenen längst vergangenen Tagen einzelne Völker als Träger und Erweiterer der Kultur ablösen, so wetteifern später alle gebildeten Nationen in der Ausübung dieser Arbeit. Im Altertum wird man also die von einzelnen Völkern gemachten Fortschritte, in der neuern Zeit die von Zeitgenossen, welche die Gleichartigkeit dieser Bestrebungen vereint, als zusammengehörig zu betrachten haben.

Ergeben sich auf solche Weise für uns wohl gesonderte Abschnitte, so kann bei denselben von einer Abgrenzung nach Jahreszahlen natürlich nicht die Rede sein. Denn

nur langsam ändern sich die Anschauungen der Menschen und nur schrittweise bricht sich das Neue Bahn. Unmöglich ist es anzugeben, wann dies im Einzelnen geschieht; es besteht vielmehr Altes und Neues nicht selten neben einander fort, dieses von dem jüngern Geschlecht mit Begeisterung aufgenommen, jenes von den Älteren zähe verteidigt. So werden wir die Abschnitte, in die wir unsern Stoff gliedern, nicht mit Jahreszahlen bezeichnen können, zur Zeitbestimmung aber die Geburts- und Sterbejahre in ihnen wirkender Forscher, so weit sie bekannt sind, um so sorgfältiger beibringen.

---

I.

# Geschichte der Naturwissenschaften im Altertum.

## Babylonier und Ägypter.

Die Wissenschaft der beiden Völker, die uns, wie auch die **Chinesen,** Urkunden höchsten Alters hinterlassen haben, die **Babylonier** und **Ägypter,** stand im Altertum und Mittelalter im höchsten Ansehen. Leiteten die Griechen ihre Kenntnisse von den Ägyptern her, so schrieb man bis ins Mittelalter den **Chaldäern** eine Fülle geheimnisvollen Wissens zu. Chaldäer aber war eine alte Bezeichnung für die Bevölkerung Babylons, die in noch früherer Zeit die **Akkader** genannt wurden. Über dieses Volk, dem wir wahrscheinlich die Grundlagen unserer Wissenschaft verdanken, sind neuerdings viele einander widersprechende Ansichten aufgestellt worden. Man wird sie für Vorsemiten halten müssen, für ein Volk, welches den Urformen der Araber, Syrer u. s. w. verwandt war. Dass es uralte, sich weit erstreckende Handelsverbindungen hatte, ist möglich, seine Kultur stammt aber nicht aus anderen, etwa chinesischen Quellen. Wie die Ägypter ihre Hieroglyphen, so hatten die Babylonier ihre Keilschrift, und wie uns die

Urkunden jener in Stein gehauen oder auf Papyrusrollen, die ihre Aufbewahrungsorte und das trockne Klima der Nilländer vor dem Verderben schützten, geschrieben erhalten sind, so besitzen wir auch die Schriften dieser eingegraben auf Ziegelsteinen, welche uns von einer Pracht und Herrlichkeit Kunde geben, die längst in Trümmern liegt.

Beide Völker besassen bereits das Masssystem, dessen Ausbreitung der antiken Welt mühelos die Vorteile eines einheitlichen Masses und Gewichtes gewährte, welche die Gegenwart trotz der grössten Anstrengung noch nicht hat wieder erringen können. Man hatte zwar zweierlei Längenmasse, die sich wie 6 : 7 verhielten, und drei Gewichte, von denen das erste $^3/_5$ des zweiten, dieses $^6/_5$ vom dritten war, aber auch nur diese. Das dritte Gewicht wurde zudem nur in ganz wenig Orten gebraucht und früh zu Gunsten der anderen fallen gelassen. **Lepsius** weist die Einführung dieses Masssystems den Ägyptern zu und nimmt an, dass das eine dem untern, das andere dem obern Ägypten ursprünglich angehört habe, dass das einfache Verhältnis aber nach der Eroberung des letzteren Gebiets durch die Pharaonen hergestellt worden sei. Mehr Wahrscheinlichkeit dürfte indessen **Boeckhs** Ansicht haben, der in den Babyloniern die Urheber dieser Masse deshalb sieht, weil aus ihren Beobachtungsapparaten sich die angeführten Verhältnisse sehr befriedigend erklären lassen. Bei ihren astronomischen Arbeiten benutzten sie zur Zeitbestimmung würfelförmige Wassergefässe mit einer sehr kleinen Öffnung im Boden, aus der das hineingefüllte Wasser ausfloss. Die dazu nötige Zeit legten sie als

Einheit bei ihren Messungen zu Grunde. Wir wissen nun, dass grössere und kleinere Gefässe dieser Art im Gebrauche waren. Setzt man das Verhältnis ihrer Inhalte zu 2 : 3 an, so ergeben ihre Seiten die Längenmasse, die Gewichte des in ihnen enthaltenen Wassers, welche durch Wägung und Raummessung bestimmt und in 1000 oder 600 Teile geteilt wurden, die Gewichtseinheiten, die der Verkehr benutzte, während die dritte Gewichtseinheit, die nur in Euböa und dem alten Attika im Gebrauch gewesen ist, vielleicht lokalen Ursprungs war. In Athen führte schon Solon das kleinere babylonische Gewicht ein.

Die recht vollkommene Zeiteinteilung, deren sich die Babylonier bedienten, ist wohl geeignet, **Boeckhs** Annahme zu stützen. Man rechnete in Babylon den Tag vom Aufgang bis zum Untergang der Sonne und teilte ihn, sowie die Nacht in je 12 Stunden, deren Länge somit mit der Jahreszeit wechselte. Aus ihren wohl mehrtausendjährigen Beobachtungen hatten die Babylonier die für den Kalender so wichtige Periode von 19 Sonnenjahren entnommen, in die bis auf $1^1/_2$ Stunden genau 235 Neumonde fallen und die noch in unseren Kalendern die sogen. goldene Zahl und danach Ostern bestimmt. Sie wussten ferner, dass in einer Periode von 18 Jahren und 11 Tagen entsprechende Finsternisse wiederkehren, waren also auch im stande, solche vorherzusagen. Ebenso kannten sie die fünf grossen Planeten und ihre Umlaufszeiten und es mag die Klarheit der Luft ihrer Heimat ihnen die Beobachtung des sonst so schwer sichtbaren Merkur ermöglicht haben. Wie die Chinesen haben sie auch Kometen beobachtet, die sie für eine besondere

Art von Wandelsternen hielten, und mit Hilfe ihrer Wasseruhren *Sternörter* bestimmt, was späteren griechischen Astronomen sehr zu statten kam. Dass sie zu diesem Zwecke Sternwarten errichtet hatten, würde mit Sicherheit anzunehmen sein, auch wenn es uns nicht überliefert wäre. Ihre Priester beobachteten dort und vor kurzem hat man die allerdings verhältnismässig jungen Aufzeichnungen einer solchen ausgegraben, welche sich bei Abu Habba befand. Diese Beobachtungen setzten aber mathematische Kenntnisse voraus; in der That stammt aus Babylon die *Einteilung des Kreises* in 360 Grade, von denen jeder 60 Minuten zu 60 Sekunden enthielt.

Auch physikalische Kenntnisse scheinen sie besessen zu haben. Dafür, dass sie *optische Studien* trieben, spricht eine Sammellinse aus Bergkrystall, welche in den Ruinen von Niniveh in einer Umgebung gefunden wurde, die eine Übertragung in späterer Zeit ausschliessen. Wenn nun auch Niniveh die Hauptstadt der Assyrer gewesen ist, so waren diese in ihren Kenntnissen von ihren babylonischen Nachbarn gänzlich abhängig und so scheint aus diesem wichtigen Fundstücke, welches sich im Britischen Museum befindet, hervorzugehen, dass die Optik der älteste Teil der Physik ist. Dass ihre Uhren die Chaldäer mit Bewegungserscheinungen des Wassers bekannt gemacht haben, müssen wir annehmen, doch ist uns darüber keine Nachricht aufbewahrt.

Chaldäische Ziegelurkunden machen es unzweifelhaft, dass zwischen der Euphratstadt und dem Lande der Pharaonen ein reger Verkehr stattfand. Wenn mithin die **Ägypter** mit der Wissenschaft der Babylonier wohl

bekannt waren, so haben sie dieselbe doch keineswegs, wie andere uralte Völker, unselbständig aufgenommen. Vielmehr wurden die regelmässigen, die Fruchtbarkeit ihres Landes bedingenden Überschwemmungen des Nil für sie Veranlassung nach Sonnenjahren zu rechnen. Indem sie ein solches Jahr aus 365 Tagen, aber 12 nur 30tägigen Monaten bestehen liessen, waren sie genötigt, den letzteren fünf Ergänzungstage jährlich zuzufügen. Im Laufe der Zeiten ergab sich freilich ihr Jahr als um 1/4 Tag zu kurz, sie behielten es aber doch durch Jahrtausende bei, da sie es als wünschenswert ansahen, dass ihre Feste nach und nach in immer andere Jahreszeiten fielen. Erst um 238 v. Chr. nahmen sie in jedem vierten Jahre statt der fünf gewohnten sechs Ergänzungstage. An mathematischen Kenntnissen übertrafen sie vielleicht noch die Babylonier. Rechneten sie doch schon früh mit Brüchen, lösten einfache Gleichungen auf, kannten arithmetische und geometrische Reihen und waren im stande, mit ziemlicher Genauigkeit den Kreisinhalt aus dem Durchmesser zu finden.

Wohl erfahren scheinen sie auch in der Chemie gewesen zu sein und eine von den vielen Erklärungen dieses Wortes leitet es von Chemia oder das schwarze Land her, wie seine Bewohner Ägypten genannt haben sollen, woraus sich sogleich auch die Bezeichnung der schwarzen Kunst, die wir für Chemie, aber nicht für Alchemie gebraucht finden, ergeben würde. Sehr wahrscheinlich ist die Schreibart Chemie älter, als die andere Chymie, und man kann somit die alte Bezeichnung der Scheidekunst nicht von dem griechischen Wort

χυμός, Flüssigkeit, ableiten. Der erste, der das Wort braucht, ist der Alexandriner **Zosimus** im 5. Jahrhundert n. Chr., aber dieser leitet es von Chema, einem der Sage nach den Menschen von höheren Wesen mitgeteilten Wissen, her. Nach dem Ausweis zahlreicher uralter Abbildungen besassen die Ägypter das wichtigste Instrument der Chemie, die Wage, eine gleicharmige Hebelwage, die an einem Haken hing. Ein an demselben Haken befestigtes Senkel erlaubte den horizontalen Stand des Wagebalkens zu beurteilen. Die Abscheidung einiger Metalle aus ihren Erzen, die Herstellung fäulniswidriger Stoffe war ihnen geläufig. Aber auch die Chemie der Heilmittel hatten sie nicht vernachlässigt. Ihre Priester übten zugleich den ärztlichen Beruf aus, und wenn auch das von ihnen meistens verordnete Mittel des Tempelschlafes darin bestand, dass die Kranken unter Einhaltung bestimmter Gebräuche im Tempel eines Gottes ruhen mussten, um so im Traume oft freilich die wunderbarsten Heilmittel offenbart zu erhalten, so hatten jene doch im Laufe der Zeiten Gelegenheit, eine Menge Erfahrungen zu machen, die sie auf Heilmittel führten. Auf solche Weise bildeten sich medizinische Schulen unter den Priestern aus, deren Vorschriften freilich so streng eingehalten werden mussten, dass ihre Weiterbildung dadurch sehr erschwert wurde. Schon zu Homers Zeiten hatte sich der Ruf der ägyptischen Ärzte über die damalige gebildete Welt verbreitet und demgemäss nahm die griechische Heilkunde ihren Ausgangspunkt von Ägypten. Gab es dort doch bereits Spezialärzte, besonders solche für Augenkrankheiten!

Auch die **Phönizier** und **Israeliten** besassen mancherlei chemische Kenntnisse, doch haben sie dieselben schwerlich durch eigenes Forschen erhalten.

## Griechen und Römer.

Es ist nicht anzunehmen, dass die Wissenschaft der **Griechen** als völlig eigentümliche sich entwickelte, sondern, dass sie von derjenigen der eben betrachteten Völker ihren Ausgangspunkt nahm. Spricht dafür sowohl die in dieser Hinsicht nach Ägypten weisende hellenische Überlieferung und das Auftreten der ältesten griechischen Forscher in Kleinasien, so haben auch die neuesten archäologischen Funde mit Sicherheit dargethan, dass in frühesten Zeiten ein lebhafter Verkehr zwischen Griechenland und dem Orient bestand. Dann erklärt sich auch die verhältnismässig hohe Stufe, welche die griechische Wissenschaft von Anfang an aufweist, und die Notwendigkeit, diese herabzudrücken, um sie begreiflich zu machen, hört auf zu bestehen. Der Ruhm der Hellenen aber wird durch solche Annahme eher erhöht, als vermindert, denn eine Reihe Kenntnisse zu gewinnen und mit minderwertiger Methode zu einem beschwerlichen Wissen oder zu wertlosen Einbildungen zusammenzufassen, ist weit weniger verdienstvoll, als überkommenes Beobachtungsmaterial zu höherer Einheit emporzuheben. Indem den Griechen dieser Schritt gelang, wurden sie die Begründer wirklicher Wissenschaft.

Wie sie in einer der erhebendsten Epochen der Weltgeschichte in heldenmütigen Kämpfen ihre Freiheit den unzähligen Scharen der persischen Despoten gegenüber

behaupteten, so ist auch der von ihnen in Kunst und Wissenschaft gemachte Fortschritt der Sieg der Freiheit über knechtischen Zwang. Sie als die ersten suchen die Natur als Ganzes zu begreifen, und indem sie über Sein und Werden nachdenken, ziehen sie auch den Staat, die Sittenlehre, überhaupt alles Wissenswerte in den Bereich ihrer Untersuchungen. So werden sie Schöpfer der Philosophie. Dass sie dieser zu Gefallen die sichere Grundlage der Naturwissenschaften, das Experiment und die Beobachtung vernachlässigt hätten, ist ein Vorwurf, den man ihnen nur machen konnte, wenn man bei ihnen eine Experimentier- und Beobachtungskunst, durch deren Einführung erst nahezu 2000 Jahre später **Galilei** die Naturwissenschaft neu gestaltet hat, voraussetzte. Dabei vergass man aber, dass zu ihrer Zeit die nach unseren Begriffen gewöhnlichsten Dinge noch durch Versuche aufzufinden waren, und diese Arbeit haben sie in vollstem Masse geleistet. Mit welchem Eifer und Erfolg sie dies thaten, geht aus gelegentlichen Äusserungen ihrer Schriftsteller sattsam hervor. So haben denn auch jene zwei Jahrtausende ihr Wissensbedürfnis ausschliesslich aus griechischen Quellen gestillt, und es begann die Neubelebung abendländischer Wissenschaft mit der Wiedererlangung der unverfälschten griechischen Texte nach der Eroberung von Byzanz durch die Türken.

Der erste, der die Natur als Ganzes zu begreifen suchte, war der Milesier **Thales** (um 575 v. Chr.). Er sah im Wasser den Stoff, aus dem alles geworden sei und in den sich alles wieder auflöse. Auf dem Wasser aber schwimme die scheibenförmige Erde. Es ist nicht

unmöglich, dass er die am 28. Mai 585 eingetretene Sonnenfinsternis vorausgesagt hat, da chaldäische Kenntnisse nach Kleinasien gedrungen waren. Auch war ihm eine Anzahl Thatsachen bekannt, die nur durch Versuche hatten gefunden werden können. Er wusste, dass der Magnet das Eisen, mit Wolle geriebener Bernstein leichte Körper anzieht. Ebensowenig fehlte es ihm an mathematischen Kenntnissen und verfügte er namentlich über einige Sätze vom Dreieck. Geschrieben scheint er nichts zu haben.

Das früheste, uns freilich verlorene philosophische Werk verfasste **Anaximander,** vielleicht ein Schüler des **Thales.** Er machte darin den wichtigen und nicht leichten Fortschritt, als Grund alles Stoffes und so auch des Wassers ein Unendliches, einen allen Körpern gemeinsamen Urstoff zu setzen. In beständiger Bewegung begriffen, sollte dieser die besonderen Stoffe ausscheiden, zuerst das Warme und Kalte, dann durch Vermischung beider das Flüssige, das er dann mit **Thales** als den Samen der Welt betrachtete. Die flachcylindrische Erde sollte sich durch ihr Gleichgewicht festhalten und von einem Luft- und Feuerkreis umgeben sein, dessen Zerbersten die Gestirne entstehen liess. Man rühmte dem gelehrten Jonier nach, dass er die Bewegung der letzteren auch rechnend verfolgt habe.

Wenn der etwas jüngere Milesier **Anaximenes** den Urstoff **Anaximanders** als die Luft präzisierte, die alles umfasse und zusammenhalte, die Erde trage, der Grund unseres Lebens, ja unsere Seele sei, so war dies ganz gewiss ein Rückschritt. Mit **Anaximenes** erreicht die

Reihe der schaffenden Philosophen der **jonischen Schule** ihr Ende, nicht diese selbst, deren Lehren noch lange Zeit hindurch vom Lehrer auf den Schüler vererbt wurden. Vielleicht verdankt man **Anaximander** auch die erste Erdkarte, welche **Aristagoras**, der Schwiegersohn jenes **Histiäus**, dessen ehrgeizige und zweideutige Haltung die Perserkriege entzündete, als er Beistand suchend nach Sparta kam, mit sich führte.

Einen ganz andern Weg, zur Kenntnis des Urgrundes alles Seins zu gelangen, schlug um dieselbe Zeit der Samier **Pythagoras** (um 525) ein, der sich in Kroton in Unteritalien niedergelassen und dort eine Schule, oder richtiger einen Verein gegründet hatte. Seine Lehre ist von seinen Schülern, unter denen wir hier **Archytas** und **Philolaus** (um 450) nennen, zusammengestellt und weitergebildet. Nach dem Gebrauch damaliger Zeit aber legten diese auch das, was sie selber fanden, dem verehrten Meister in den Mund und es war deshalb bereits den Schriftstellern des Altertums schwer, ja unmöglich, die Leistungen des Lehrers von denen der Schüler zu trennen. So ist uns nicht des **Pythagoras,** sondern der **Pythagoräer** Lehre aufbewahrt worden.

Die **Pythagoräer** gingen von der Mathematik aus, die sie wesentlich bereichert haben. Die Grössen der Flächen geometrischer Figuren wussten sie zu vergleichen und der den Inhalt des rechtwinkligen Dreiecks gebende Satz, der, seit ihn **Pythagoras** gefunden, zu den wichtigsten der Geometrie gehört, trägt noch seinen Namen. Es thut dem Ruhm des Samiers keinen Eintrag, dass ihn

die Chinesen schon früher gefunden hatten. Ferner waren den **Pythagoräern** die arithmetischen, geometrischen und harmonischen Verhältnisse bekannt und wurden von ihnen verwendet. Besonders hervorzuheben aber ist, dass sie den schwierigen Begriff der irrationalen Grössen, das sind solche, die sich wie $\sqrt{2}$ oder $\sqrt{5}$ durch Zahlen nicht in abgeschlossener Weise wiedergeben lassen, obgleich sie häufig genug in unseren Rechnungen auftreten, zuerst gebildet und mit ihnen operiert haben.

Diese Bevorzugung der Mathematik gab nun ihren Arbeiten die Richtung, die sie in mancher Hinsicht unseren modernen Auffassungen nahebringt, die sie aber auch anderseits zu einer höchst phantastischen Zahlenmystik verleitete. Da sie bemerkten, dass alles durch Zahlen geregelt werde, durch sie die Form der Dinge bezeichnet sei, übertrugen sie dieses auf das Wesen der Dinge selbst und sahen dasselbe in der Zahl. Es fehlte ihnen eben noch die Fähigkeit, jene beiden Begriffe, der Form und des Stoffes, streng aus einander zu halten; daraus aber jetzt noch Folgerungen ziehen zu wollen, würde thöricht sein. Vor allem waren es wohl Versuche mit gespannten Saiten, aus denen sie jene Ergebnisse herleiteten, und ihnen verdanken wir das Gesetz, dass bei gleicher Spannung aus demselben Stoffe bestehende, gleichdicke Saiten harmonische Töne geben, wenn ihre Verhältnisse nur durch Zahlen ausgedrückt werden, welche den Wert von 6 nicht überschreiten. Haben sie dazu viele Versuche anstellen müssen, so bestimmten sie auf dem nämlichen Wege die den innerhalb einer Oktave liegenden Tönen zukommenden Intervalle.

Wenn sie dann aber die sieben Wandelsterne als die sieben Saiten der himmlischen Leyer betrachteten, welche durch ihren Zusammenklang die erhabene Harmonie der Sphären geben sollten, so liessen sie ihrer Phantasie die Zügel schiessen. Denn aller Beobachtung entgegen mussten sie annehmen, dass wir Menschen den herrlichen Akkord entweder infolge der Macht der Gewohnheit oder der Unvollkommenheit unserer Ohren nicht vernehmen könnten. Doch wurde anderseits ihre Lehre von den Sphären Ursache eines bedeutenden Fortschrittes auf astronomischem Gebiete. Sie liessen sich die Sphären der Planeten, des Mondes und der Sonne um das Zentralfeuer bewegen, das zunächst von den Sphären der Gegenerde und der Erde umkreist wurde. Im Verlauf der Entwickelung ihrer Lehre verlegten sie das Zentralfeuer in die Gegenerde, wodurch sie auf die Annahme der kugelförmigen, sich um ihre Achse drehenden Erde kamen.

Noch zu Lebzeiten des **Pythagoras** gerieten sie, da sie der dorisch-aristokratischen Verfassung anhingen, in politische Verwickelungen, die sie nach Megapont übersiedeln liessen. Der immer grössern Massstab annehmenden gegen sie gerichteten Volksbewegung gegenüber konnten sie sich aber auch hier auf die Dauer nicht behaupten. Sie wurden zersprengt und nicht wenige, darunter **Philolaos** und **Lysis**, der des **Epaminondas** Lehrer wurde, wandten sich nach Griechenland und begannen hier ihre Lehre auszubreiten.

In Griechenland hatte unterdessen die Philosophie Bahnen eingeschlagen, die sie von der experimentellen Naturwissenschaft je länger je mehr entfernen mussten.

**Xenophanes** aus Kolophon (um 525 v. Chr.), **Parmenides** und **Zenon** aus Elea (um 500 v. Chr.) suchten die Beschränktheit des Einzelwesens zu überwinden, indem sie die Voraussetzung alles Seienden, nämlich das Sein selbst, als Wesen aller Dinge setzten. Aber ein kleinasiatischer Zeitgenosse, der tiefsinnige **Herakleitos** aus Ephesus, zeigte bald, dass dadurch nur einer Seite der Welt Rechnung getragen sei. Da er die Dinge in ewigem Flusse, in fortdauernder Veränderung fand, so stellte er nicht weniger einseitig, wie die **Eleaten,** das Werden als Grundprinzip aller Dinge auf und sah im Feuer dieses verwirklicht. Dass aus ihm alles entstünde, wie nach Ansicht der **Jonier** aus dem Wasser oder der Luft, daran konnte er indessen nicht denken, vielmehr fasste er das Feuer als den lebendigen Vorgang, dem alle Dinge ihr Dasein verdankten, auf. Das mehr oder minder vollkommene Verlöschen brennender Körper ergab ihm die Vielheit der Dinge und als Ergebnis völligen Verlöschens sah er die Erde an.

Die Einseitigkeit beider Ansichten konnte in naheliegender Weise durch ihre Zusammenfassung vermieden werden; denn wenn sich die Dinge verändern sollten, so mussten sie doch von vornherein vorhanden sein. Diesen Ausweg schlug im äussersten Westen der damals bekannten Welt um 460 der vornehme Agrigentiner **Empedokles** ein, dem seine sizilische Vaterstadt die Einführung einer demokratischen Verfassung verdankte. Indem er das Entstehen als eine Verbindung, das Vergehen als eine Trennung auffasste, war er genötigt, unvergängliche und ungewordene Grundstoffe vorauszusetzen, auf welche

eine anziehende oder abstossende Kraft einwirkte. Er nahm vier solche Grundstoffe an, Erde, Wasser, Luft und Feuer, die *vier Elemente*, wie sie später genannt wurden, welche bis heute ihren Platz in der gewöhnlichen Vorstellung behauptet haben.

Demselben Bestreben, die Veränderungen in der Erscheinungswelt mit dem eleatischen Grundprinzip des Seins zu vereinigen, verdankte fast in der nämlichen Zeit die *Atomistik* ihre Entstehung, eine Lehre, welche, allerdings vertieft und mannigfach abgeändert, heute noch die Grundlage der gegenwärtigen Naturwissenschaft bildet. Zuerst von **Leukippos** ausgesprochen, wurde sie von dem Abderiten **Demokritos** (470—362) und von **Anaxagoras** aus Klazomenä (500—428), wenn auch in verschiedenen Richtungen, weiter ausgebildet. Beide betrachten als das ursprünglich Wirkliche die *Atome*, kleinste körperliche Teilchen, welche durch leere Räume von einander getrennt sind. Während dieselben aber nach **Demokritos'** Lehre dem Stoffe nach gleichartig, nur durch Grösse, Gestalt, gegenseitige Lagerung und bestimmte Eigenschaften, wie Schwere, Dichtigkeit, Härte u. s. w. verschieden sind, durch die in diesen Eigenschaften gegebene Naturnotwendigkeit aber veranlasst werden, in Wirbelbewegungen kleinere Atommassen abzusondern, die sich ineinanderfügend die Körper bilden, so schreibt ihnen **Anaxagoras** eine ins Unendliche gehende Verschiedenheit zu und lässt sie durch eine nicht körperliche Kraft den *Νοῦς* (göttlichen Geist) zu individuellen Gebilden, den Homöomerien, gelangen. Die *Seele* ist bei **Demokritos** aus besonders feinen und eigentümlich geformten Atomen gebildet. Die sinnliche Wahrnehmung

entsteht durch Ausflüsse oder Bilder, die von den Dingen ausgehend durch die Sinne in die Seele dringen. Bei **Anaxagoras** dagegen tritt die Seele als der alles durchdringende *Νοῦς* auf; durch ihren Gegensatz zu den Dingen entstehen die Wahrnehmungen und so können die Körper ganz andere Eigenschaften haben, als uns die Sinne übermitteln. Die Erde hielten beide Philosophen für eine inmitten der Welt befindliche Scheibe, die Gestirne für Gesteinsmassen, die aus leichteren Teilen als die Erde bestehen, vielleicht von ihr emporgeschleudert wurden und durch den Umschwung der wirbelnden Atome sich entzündeten.

**Demokritos'** Lehre gewann erst in späterer Zeit grössere Bedeutung, die des **Anaxagoras** regte sogleich, nicht zum Heile der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, zur präziseren Fassung des *Νοῦς* an. **Diogenes** von Apollonia glaubte ihn der alles durchdringenden Luft des **Anaximenes** gleichsetzen zu müssen, die **Sophisten** dagegen nahmen ihn in dem zunächstliegenden Sinne als Geist des Menschen und gelangten so zu dem Satz, dass der Mensch das Mass und der Herr aller Dinge sei. Da nun aber weder der Ursprung dieser Vorstellungen, noch die Gesetze seines Denkens untersucht waren, so musste diese Deutung des *Νοῦς* zu völliger Willkür führen und so die stärksten Zweifel an dem Werte der Philosophie hervorrufen, ja bewirken, dass man ihr Wesen nur noch in skeptischer Anwendung der Dialektik zu sehen sich gewöhnte.

Diesem Zersetzungsprozess der Wissenschaft erfolgreich entgegengetreten zu sein ist das Verdienst des gewaltigen **Sokrates** und seines Schülers **Platon.** In Athen als Sohn des Bildhauers **Sophroniskos** 469 v. Chr. geboren, übte

der erstere anfangs die Kunst seines Vaters aus. Später wandte er sich ausschliesslich der Philosophie zu, bis der 70jährige der Nichtanerkennung der Staatsgötter, der Einführung neuer Gottheiten und der Verführung der Jugend beschuldigt 399 den Schierlingsbecher zu trinken verurteilt wurde. Den Mangel der Lehre des **Anaxagoras**, an dem die Sophisten scheiterten, überwand **Sokrates**, indem er die von Natur vorhandenen Vorstellungen kritisch prüfte, alles Unhaltbare ausschied, dann aber zur Aufstellung der Begriffe überging. So führte er die Methode der Induktion ein, die, allerdings in strengerer Durchbildung, jetzt noch die Methode der Naturwissenschaft ist. **Platon** (429—347), der aus altadeligem Geschlechte stammend sich, zwanzig Jahr alt, an **Sokrates** angeschlossen hatte, flüchtete nach dem Tode des Lehrers mit anderen seiner Schüler nach Megara. Von dort begab er sich auf Reisen, lehrte dann aber mit unbedeutender Unterbrechung in dem dem Heros Akademos geweihten Gymnasium, welches seiner Schule den Namen der **Akademiker** eintrug. Doch ist seine Lehre für die Geschichte der Naturwissenschaften nicht durch ihren Inhalt von Bedeutung. Denn indem **Platon** den nach sokratischer Methode bestimmten Begriff eines Dinges, dessen Idee, als das wirklich Existierende ansah, schuf er jenen Idealismus, welcher die Ursache der bis in die neueste Zeit dauernden Entfremdung der Philosophie und der Naturwissenschaften geworden ist. Indessen enthalten seine Schriften manche Versuchsergebnisse, die, wenn auch ihr Urheber nicht genannt wird, beweisen, wie eifrig die Griechen Versuche anstellten und wie grosses Interesse sie denselben entgegenbrachten;

so die Thatsache, dass ein wollener Faden, der von einem vollen in ein diesem gleiches leeres Wassergefäss gelegt wird, die Hälfte des Wassers aus jenem in dieses herüberzieht. Auch hat Platon viele von den Erfindungen des Pythagoräers **Archytas** aus Tarent vor der Vergessenheit bewahrt, dem er auf seinen Reisen begegnet war und dem man die Erfindung der Rolle und Schraube zuschrieb, sowie die Herstellung von Automaten, deren Leistungen freilich sehr übertrieben wurden.

Auf diesen Verkehr mit **Archytas**, der als Staatsmann, Feldherr und Gelehrter in gleicher Achtung stand, dürfte die Ähnlichkeit der Ansichten **Platons** über das Weltganze mit den pythagoräischen zurückzuführen sein, wie denn auch ein Teil seiner Schüler sich der pythagoräischen Lehre zuwandte. Ein andrer Teil suchte die Konsequenzen des Idealismus mit der Wirklichkeit durch stärkere Betonung der Empirie in Einklang zu bringen. In dieser Hinsicht **Platons** Lehre wirklich fortzubilden gelang aber nur einem derselben, dem Stagiriten **Aristoteles.** 384 geboren, brachte er seine Jugend am Hofe des makedonischen Königs **Amyntas** zu, dessen Leibarzt sein Vater war. Durch den frühen Tod desselben in den Besitz eines beträchtlichen Vermögens gesetzt, wandte er sich nach Athen und schloss sich dort an **Platon** an. Vierzigjährig wurde er nach Makedonien zurückberufen, um die Erziehung des Enkels jenes **Amyntas**, des dreizehnjährigen **Alexander**, zu übernehmen. Drei Jahre nach der Thronbesteigung seines Zöglings ging er nach Athen zurück und trug dort in den Säulenhallen des Lykeions hin- und herwandelnd seine Philosophie vor, so die Schule der

**Peripatetiker** (Wandelnden) gründend. Als ihm aber daselbst eine peinliche Anklage wegen Atheismus drohte zog er sich auf sein Landgut bei Chalkis auf Euböa zurück, wo er 322 starb.

**Aristoteles** hat den Idealismus nicht überwunden; da er aber der Schöpfer der Bewegungslehre ist, so wurden seine Arbeiten in vielfacher Hinsicht der Ausgangspunkt auch der modernen Naturwissenschaft. Er hält im Gegensatz zu **Platon** für das ursprünglich Seiende nicht den Begriff, die Idee eines Wesens, sondern das Einzelwesen selbst. Dasselbe besteht aus Stoff und Form und zwar ist jener die Möglichkeit der Form, deren Stoff er ist, diese dagegen die Wirklichkeit des Stoffes, deren Form sie ist. Die Formbestimmung wiederum ist Sache der bewegenden Kraft, welche nach der Form begehrt, und somit ist die Bewegung das Wirklichwerden des Möglichen. Sie ist eben so notwendig und ewig, wie Stoff und Form und es kann also keinen ungeformten Stoff, aber auch kein Entstehen und Vergehen geben, denn jede Neubildung ist nur eine Umformung. Überhaupt kann nur das im Begriff gedachte Wesen der Dinge Gegenstand der Wissenschaft sein und so ist auch bei **Aristoteles** in völlig idealistischer Weise die selbständige reale Existenz des Stoffes ausgeschlossen.

Alle Bewegung muss nun von einem Bewegenden, welches nicht bewegt wird, ausgehen und dies ist der reine Geist *(Νοῦς)* oder die Gottheit, dessen Denken nur sie selbst zum Inhalt haben kann, das erste Mal, dass der Monotheismus wissenschaftlich begründet wurde. Von einem doppelten Gesichtspunkt aus kann aber die

Bewegung betrachtet werden, von dem der bewegenden Kraft und von dem des bewegten Stoffes. Im ersten Fall ist die Bewegung nichts anderes als die Verwirklichung des Begriffes im Stoffe, als Zweckthätigkeit, im zweiten Falle dagegen mechanische Bewegung. Die letztere erfolgt im Raume oder der Grenze des Umschliessenden gegen das Umschlossene, und in der Zeit oder dem Masse der Bewegung im Vergleich zu vorausgegangener oder folgender. Doch ist die aller Bewegung innewohnende Zweckthätigkeit der Natur nicht von aussen hereingetragen, aber es gelingt dem Stagiriten die einheitliche Verbindung zwischen Zweckursache und physikalischer Ursache nur durch die Annahme zu verbinden, dass der Stoff der Form einen Widerstand entgegensetzt, wobei sich verschiedene Stufen der Vollkommenheit ergeben. Weiter kann der Stoff warm oder kalt, trocken oder feucht sein und einen bestimmten Ort im Weltganzen haben, dem er zustrebt. So entstehen die vier Elemente: in der Mitte der Welt, der untersten Sphäre unter dem Monde, die kalte und trockene Erde, sie umgebend das kalte und feuchte Wasser, darüber die warme und feuchte Luft und endlich sie alle einschliessend das warme und trockene Feuer. Dadurch ist der Grund gegeben, warum die kalten und trocknen Steine nach unten sinken, das warme und trockne Feuer nach oben steigt.

Die Himmelskörper bestehen aus dem himmlischen Stoff, dem Äther, den man später als fünftes Element, ja als eine höhere Elementarpotenz betrachtete und Quintessenz *(quinta essentia)* nannte. Mit **Eudoxos** von Knidos (409—356) dachte sich **Aristoteles** die Sterne

an Sphären befestigt, welche sich im Kreise bewegten. Jeder Planet besass ebensoviel Sphären wie Elementarbewegungen, die folgende Sphäre trug die Achse der vorhergehenden, der Planet aber befand sich im Äquator der letzten. 56 solcher Sphären, deren Bewegung ein besonderes geistiges Prinzip bewirkte, glaubte er annehmen zu müssen; in ihrer Mitte aber ruhte die kugelförmige Erde. Nach den Angaben früherer Philosophen bestimmte er ihren Umfang zu 400 000 Stadien, ein Wert, welcher dem jetzt angenommenen ziemlich nahe kommt, da das kleine ägyptische Stadium, welches **Aristoteles** wahrscheinlich benutzte, 99.75 *km* beträgt. Legt man dieses zu Grunde, so erhält man 39 900 *km* als Erdumfang.

Die Bewegung kann eine natürliche und eine gewaltsame oder naturwidrige sein. Die Fortdauer der natürlichen Bewegungen, wozu die Kreisbewegung oder die Bewegung des fallenden Steines gehört, bedarf weiter keiner Erklärung. Die gewaltsamen Bewegungen aber verzehren die bewegenden Kräfte und bedürfen daher eines fortgesetzten Antriebes, den die Luft ausübt. Aus **Aristoteles'** Darstellung geht indessen hervor, dass andere Philosophen zu seiner Zeit die Fortdauer der Bewegung aus einem Beharren in dem mitgeteilten Zustand erklärten. Auch scheint damals bereits das später als Satz vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten bezeichnete Problem, wonach die Bewegung eines in zwei Richtungen mit bestimmter Geschwindigkeit getriebenen Körpers in der Diagonale des aus den Geschwindigkeiten als Seiten konstruierten Parallelogramms erfolgt, bekannt gewesen zu sein. Ganz bestimmt kannte der Stagirite den

Hebel und seine Wirkungsweise. Er wusste, dass mit dem kürzern Arm des ungleicharmigen Hebels eine grössere Last deshalb gehoben werden kann, weil die am längern Arm angreifende Kraft einen längern Weg beschreibt. Wenn es nun auch richtig ist, dass diese Lösung ein spezieller Fall eines allgemeinen von der neuern Wissenschaft aufgestellten Prinzips ist, so darf man daraus doch nicht schliessen, dass dieses dem **Aristoteles**, sei es auch in ganz verschwommenen Umrissen, bereits vorgeschwebt habe.

Dass die Luft ein Gewicht habe, davon war **Aristoteles** so sehr überzeugt, dass er es sogar zu bestimmen versuchte. Doch blieb ihm der Gedanke fern, daraus die Unmöglichkeit eines luftleeren Raumes zu erklären. Da er die Luft als nach oben strebend annahm, so musste diesen vielmehr, wie die Planetenbewegung, ein Geistiges erklären, der Abscheu der Luft vor dem leeren Raum. Die Rolle der Bewegung der Luft bei der Leitung des Schalles zum Ohre übersah er nicht, und erklärte die Thatsache, dass man bei Nacht besser höre, als bei Tage, aus der grösseren Ruhe und der fehlenden Wärmewirkung der Sonne. Er glaubte aber, dass sich tiefe Töne langsamer durch die Luft fortpflanzten, als hohe. Wie für die Gehörsempfindungen nahm er auch für die Gesichtsempfindungen ein vermittelndes Agens an. Den Regenbogen dachte er sich durch Reflexion der Strahlen an den Wassertropfen entstanden, ebenso hat er manche andere meteorologischen Erscheinungen beobachtet. Überall aber ist es seine induktive Methode, die uns mehr interessiert, als der Inhalt seines Wissens.

Sie führte ihn auf die Bezeichnung von Grössen durch Buchstaben, auf eine Definition des Stetigen und des aus diesem Begriffe sich ergebenden unendlich Kleinen, die auch jetzt noch berechtigt ist und zeigt, dass der scharfe Denker die Beschränktheit unsrer Seele, stetige Grössen nur in diskreter Form auffassen zu können, erkannte und zu überwinden trachtete.

In des Stagiriten Lebenszeit fällt der Untergang der Freiheit Griechenlands, er selbst hatte den Despoten seines Vaterlandes erzogen. Mit ihrer Freiheit endete auch die produktive Philosophie der Hellenen. Wohl hatte sie **Aristoteles** so weit geführt, dass ihr Ausbau sich nun von selbst zu ergeben schien, aber unter den Epigonen fanden sich keine ebenbürtigen Geister und so breitete sich die Wissenschaft in Einzelforschungen aus. Wenn dies nun auch die Förderung der Philosophie mehr und mehr unmöglich machte, die Naturwissenschaft hatte um so grössern Vorteil davon, denn Experiment und Beobachtung kamen nun immer häufiger zur Anwendung. Damals wurde (um das Jahr 100) in Athen der erste meteorologische Apparat, eine Windfahne, aufgestellt, als deren Träger der syrische Baumeister **Andronicus Cyrrhestes** einen mächtigen, mit Skulpturen versehenen Turm, den Turm der Winde, baute. Aber Athen hörte auf, der Mittelpunkt griechischer Wissenschaft und damit der Wissenschaft überhaupt zu sein. Bewahrte es auch seinen Rang als Bildungsanstalt, so waren es nun Sizilien, Ägypten und die griechischen Inseln, von denen die Kunde neuer Fortschritte ausging. Die stärkere Bevorzugung des Experimentes und der Beobachtung musste dann auch eine Arbeitsteilung zur Folge haben, die Astronomie trennte

sich von Mathematik und Physik oder besser Mechanik und des **Eudoxos** Satz, dass auf dem Gebiet der Naturkunde die Erfahrung die einzige Quelle der Erkenntnis sei, gewann immer mehr an Verbreitung.

Hatte nun das Bestreben, auf solchem Wege zur richtigen Erkenntnis zu gelangen, den knidischen Astronomen die allzu zusammengesetzte Lehre von den Planetensphären aufstellen lassen, so wurde es in den Händen des Samiers **Aristarch** (um 264 v. Chr.) die Ursache, jene so schwierigen Hilfsvorstellungen ganz über Bord zu werfen und, was bereits Platon in seinem Alter auch gethan haben soll, die Sonne in den Mittelpunkt der Fixsternsphäre zu setzen. Um die dort ruhende sollte sich die zugleich um ihre Achse rotierende Erde bewegen, während die Fixsterne wiederum als ruhend gedacht wurden. Aber für solche Anschauungen war die Zeit noch nicht reif und wie **Plutarch** erzählt fehlte nicht viel, dass **Aristarch** der Gottesleugnung geziehen wurde. So drang denn auch seine Lehre nicht durch, vielmehr bildete der Bithynier **Hipparch** (um 140) des **Eudoxos** Ansicht in einer Weise aus, dass sie nun als Grundlage einer wissenschaftlichen Astronomie dienen konnte, und machte diesem dadurch den Ruhm der Gründer einer solchen Lehre zu sein streitig. Da er die ungleiche Länge der Jahreszeiten beobachtet hatte, so verlegte er den Mittelpunkt der Sonnenbahn vom Mittelpunkt der Erde gegen das Sternbild der Zwillinge hin und es glückte ihm auch, die Mondbahn genügend genau herzustellen. Wenn ihm dasselbe mit den Planetenbahnen nicht gelang, so verbesserte er doch die bereits von **Aristarch** verwendete

Methode zur Bestimmung der Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde. Es liegt auf der Hand, dass solche Resultate eine gleichzeitige Verbesserung der astronomischen Instrumente bedingten. In der That gab er solche an, namentlich das Astrolabium, eine vollkommenere Form der älteren Armillen, bei welchen Instrumenten feste Kreise in die Ebene des Meridians und Äquators gestellt wurden, während bewegliche, mit Absehen ausgerüstete den Winkelabstand eines Sternes von der Sonne u. s. w. finden liessen.

Fast noch grössern Aufschwung sah dieselbe Zeit die Mechanik und die Mathematik nehmen. Förderte sie doch der Syrakusaner **Archimedes**, ein Mann, welcher den grössten Geometern und Erfindern aller Zeiten an die Seite gestellt werden muss. 287 v. Chr. geboren, kam er bei der Eroberung von Syrakus durch die Römer 212 um. Da seine Erfindungen den Zeitgenossen besonders unverständlich waren, so kann es nicht verwundern, dass sich eine Menge Sagen daran geheftet haben. Vierzig neue Erfindungen werden ihm zugeschrieben, darunter eine Anzahl Hebe-, Stoss- und Schleudermaschinen, welche er zum Zwecke der Verteidigung seiner Vaterstadt aufstellte. Sicher rühren der Flaschenzug, die in Fig. 1 S. 30 abgebildete Schraube ohne Ende, eine Schraube *S*, die in ein mit schiefen Zähnen versehenes Rad *R* eingreift und die noch den Namen ihres Erfinders tragende Pumpmaschine, die archimedische Schnecke, Fig. 2, die nur durch Drehung das im Schraubengange immer nach unten fliessende Wasser bis zu dessen obern Ausgangspunkt emporhebt, von ihm her. Auch ein Planetarium hatte

er nach Ciceros Erzählung verfertigt, mit dessen Hilfe man durch Drehung einer Kurbel die Stellungen der Planeten verfolgen konnte. Er war der erste, welcher den Begriff des Schwerpunktes aufstellte und es gelang ihm, aus den Sätzen über den Schwerpunkt von Ebenen und Körpern das Hebelgesetz abzuleiten. Zur Auffindung des nach ihm genannten hydrostatischen Prinzips, wonach das Wasser von dem Gewichte

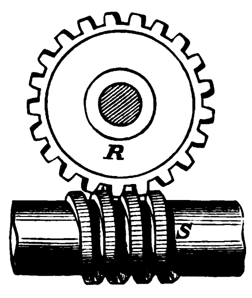



Fig. 1.

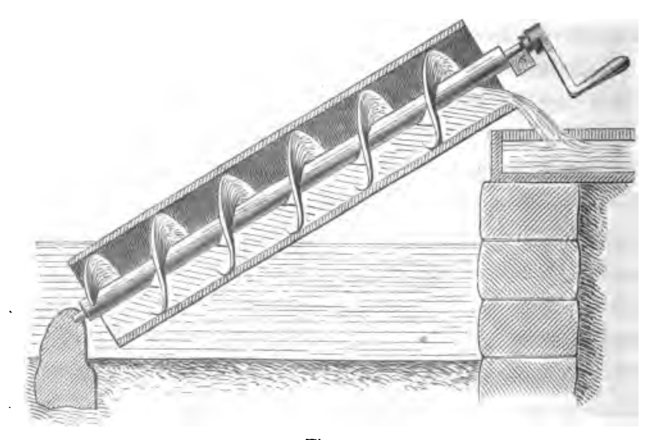


Fig. 2.

eines eingetauchten Körpers den Teil trägt, der so gross, wie das Gewicht des dem seinigen gleichen Wasservolumens ist, führte ein Betrug, den die Goldschmiede des Königs

Hieron II. bei Herstellung einer goldenen, zu einem Weihegeschenk bestimmten Krone verübt hätten. Der König hatte ihnen zu diesem Zwecke eine gewogene Menge Goldes übergeben, und es war nun festzustellen, ob nicht ein Teil des Goldes durch Silber ersetzt war. Durch Eintauchen einer gleichen Gewichtsmenge Goldes fand **Archimedes,** dass jene mehr Wasser verdrängte als diese, und bewies so, dass sie nicht aus reinem Gold bestand.

Diesen mechanischen und physikalischen Arbeiten reihen sich die mathematischen des Syrakusaners würdig an. Er lehrte zuerst den Inhalt des Kreises aus dem Inhalt eines umschriebenen und einbeschriebenen regelmässigen Vielecks von gleicher Seitenzahl bestimmen, von denen das eine immer kleiner, das andere immer grösser als der Kreis bleibt, und führte so die Grenzmethode ein, die sich namentlich in neuerer Zeit als äusserst fruchtbar erwies. Einer Bestimmung des Verhältnisses der Kugel und des sie einschliessenden Cylinders schlossen sich Arbeiten über die Parabel und die Spiralen, von denen eine noch seinen Namen trägt, um nur einiges zu erwähnen, an. In seiner Arbeit über die Sandeszahl bewies er, dass er richtige Begriffe vom Unendlichen gefasst hatte; er berechnete darin die Anzahl Sandkörner, welche die damals bekannte Welt ausfüllen würden, und findet sie keineswegs unendlich gross, sondern durch eine 1 mit 63 Nullen gegeben.

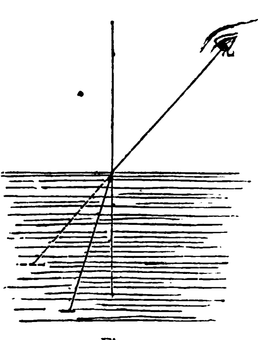
**Archimedes** tritt als ein ebenbürtiger Geist neben **Aristoteles.** Die weitaus grössere geschichtliche Bedeutung des letzteren verdankt derselbe einmal dem Umstand, dass von seinen Werken mehr erhalten ist, als von denen des **Archimedes,** und sodann dem weitern, dass er in ihnen

das Wissen seiner Zeit zusammengefasst hat. Dem Verteidiger von Syrakus aber schuldet die Wissenschaft eine Menge neuer experimenteller und mathematischer Kenntnisse und, was wichtiger ist, Methoden, die, nachdem sie einmal aufgestellt waren, umfangreiche neue Gebiete erschlossen. So ist **Archimedes** den grossen Eroberern zu vergleichen, **Aristoteles** den Ordnern und Bewahrern der neu errungenen Gebiete.

Während des Menschenalters, in welchem **Archimedes** Sizilien zum Hauptsitze der Wissenschaft machte, wurde in Alexandrien in Ägypten in dem von dem **ersten Ptolemaios** gestifteten Museum mit seiner grossartigen Bibliothek der Wissenschaft eine Heimat geschaffen, der sie Jahrhunderte lang treu blieb. Obwohl die alexandrinischen Gelehrten je länger je mehr sich auf die Bewahrung und Kommentierung der Arbeiten ihrer Vorgänger beschränkten, so waren sie doch in den ersten Jahrhunderten ihres Bestehens auch schöpferisch thätig. Ein Mittelpunkt der Wissenschaften aber blieb ihr Museum bis zu seiner Vernichtung durch die arabischen Eroberer.

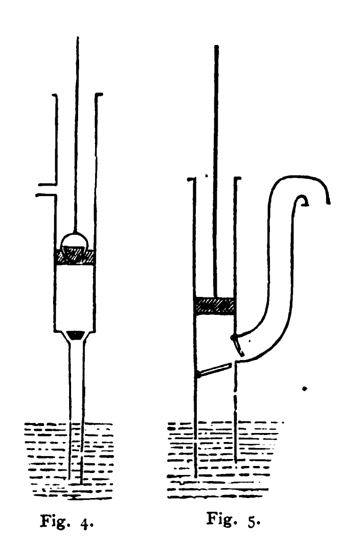
Die älteste wichtige Arbeit des Museums ist die Zusammenstellung der Mathematik des Altertums durch **Euklid** (geb. um 300 v. Chr.), der nicht mit dem Anhänger des **Sokrates** in Megara verwechselt werden darf. Seine Arbeit ist nach so vollkommen logischer Methode durchgeführt, dass während des folgenden Jahrtausends des **Euklid** mathematische Bücher das Werk waren, aus dem allein man Mathematik lernte, dass sie in England dem mathematischen Unterricht auch jetzt noch allein zu Grunde gelegt werden. Aus **Euklids** Bearbeitung der

Optik erfahren wir, dass zu seiner Zeit die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes in demselben Mittel und das Gesetz, nach welchem der Strahl an der Grenze zweier Mittel reflektiert wird, bekannt war, dass man auch beobachtet hatte, dass infolge der Brechung des Lichtstrahles im Wasser befindliche Gegenstände höher zu liegen scheinen, als sie sich wirklich befinden, wie dies Fig. 3 veranschaulicht. In der Erklärung des Sehens ging er nicht über die Ansicht seiner Vorgänger hinaus, die es sich als ein Fühlen dachten. Dieses soll entweder durch Strahlen bewerkstelligt werden, welche das Auge zu den Gegenständen sendet, oder nach **Demokrit** und **Aristoteles** durch solche, die von den Gegenständen ausgehen, oder endlich durch solche, die Auge und Gegenstand einander entgegensenden. **Euklid** hielt die erste Ansicht für die richtige, bestimmte sie nur genauer dahin, dass für jede Empfindung und jedes Auge je ein Lichtstrahl genüge.


Fig. 3.

Den Höhepunkt seiner Entwickelung erreichte das alexandrinische Museum etwa 100 Jahre v. Chr. zur Zeit des **Ktesibios** von Askra und seines Schülers **Heron** von Alexandrien, über deren Lebensverhältnisse uns leider so gut wie nichts aufbewahrt ist. Aber auch hinsichtlich ihrer Arbeiten sind wir nur auf Berichte späterer Hand angewiesen. Zwar besitzen wir Schriften, die **Heron** zugeschrieben werden. Sie sind

aber in einer Weise überarbeitet, dass es nur mit grosser Schwierigkeit möglich gewesen ist, ihren ursprünglichen Wortlaut wieder herzustellen. Dabei hat sich ergeben, dass die Apparate, die **Herons** Namen auch heute noch tragen, der Heronsball und der Heronsbrunnen, gar nicht von ihm herrühren, sondern etwas jünger sind. Die Beschreibung einer Anzahl von Maschinen beider Männer hat uns der Baumeister des Kaisers **Augustus**, **Vitruv**, aufbewahrt.


Fig. 4. Fig. 5.

Die Maschinen und Werkzeuge, die von ihnen selbst oder doch kurz nach ihrer Zeit in Gebrauch gesetzt wurden, besassen vielfach Zahnradübersetzung, die man früher nicht verwendet hatte, sodann waren es Hebezeuge für feste und namentlich auch für flüssige Körper. Wasser hob man schon zu **Aristoteles**' Zeiten mit der Saugpumpe, wie sie Fig. 4 zeigt, die in Fig. 5 dargestellte Druckpumpe war wahrscheinlich des **Ktesibios** Erfindung. Durch Zusammenfügen zweier Druckpumpen, die abwechselnd ihren Strahl warfen und auf eine Ausflussöffnung wirkten, erhielt er dann die im Altertum übliche Feuerspritze. Sie konnte nicht kontinuierlich wirken, wie unsere moderne, weil sie

keinen Windkessel besass. Obwohl dieser Windkessel nichts anderes ist, als der Heronsball, so haben ihn die Alten doch noch nicht mit der Druckpumpe vereinigt, wie trotz allen gegenteiligen Behauptungen eine Feuerspritze, die man in Civita vecchia ausgegraben hat, unwiderleglich beweist. Wenn sie auch 300 Jahre jünger ist, als die ktesibische, so hat sie doch noch keinen Windkessel. Betrachtet man die Form des Heronsballes, die ihm die Alten gegeben hatten (Fig. 6), so wird es verständlich, wie sie auf jene scheinbar so nahe liegende Verbindung nicht kamen. Es wurde durch die Pumpe *e* Luft in das Gefäss gepresst, während das Ausflussrohr *ab* so nach unten gedreht war, dass seine Öffnung zwischen *c* und *d* stand und daher die Öffnungen bei *a* und *b* geschlossen waren. Erst wenn die Luft im Ballon genügend verdichtet war, erhielt *ab* die in der Figur gezeichnete Stellung und nun trieb die Luft das Wasser in kontinuierlichem Strome heraus. Dass man dasselbe durch Einpumpen von Wasser erreichen könne, darauf kam man erst nach fast 2000 Jahren.

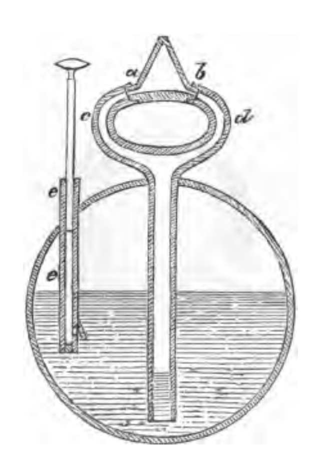


Fig. 6.

Die mit Hilfe der Druckpumpe zusammengepresste Luft benutzte **Ktesibios** auch, um in Wasserorgeln den zum Tönen nötigen Wind hervorzubringen, und baute

Wasseruhren, bei denen aus einer feinen, ihrer Unveränderlichkeit wegen in Gold oder Edelstein gebohrten Öffnung ein Wasserstrahl austrat, der ein Gefäss mehr und mehr füllend einen Schwimmer hob. Eine an diesem befestigte Zahnstange setzte dann ein Zahnrad und einen auf seiner Achse befestigten Zeiger in Drehung, und liess so die Stunden ablesen. **Heron** kannte auch den Heber. Von mannigfachen Automaten, einem Wegemesser und vielen physikalischen Spielereien, welche die Zeitgenossen hauptsächlich in Erstaunen setzten, sehen wir hier ab, heben vielmehr nur noch den Apparat hervor, um dessen Willen einige in **Heron** den Erfinder der Dampfmaschine sehen zu können meinten, die in Fig. 7 dargestellte Aeolipile. Es ist dies eine um eine Achse drehbare Metallkugel mit zwei seitlichen, an den Enden nach entgegengesetzter Richtung umgebogenen Röhren, die mit Wasser gefüllt und erhitzt wird. Der Dampf strömt dann aus den seitlichen Röhren aus und setzt durch seinen Rückstoss den Apparat in Rotation.



Fig. 7.

Auch auf mathematischem Gebiete war **Heron** thätig. Er gab, als der erste, die Formel für den Inhalt eines beliebigen Dreiecks, und fand, dass der Weg des reflektierten Lichtstrahls stets der kürzeste zwischen zwei auf ihnen liegenden Punkten sei.

Mehr durch geographische und astronomische Arbeiten erwarb sich etwa 200 Jahre nach **Ktesibios** und **Heron** der aus Oberägypten gebürtige Claudius **Ptolemaios** als letzter unter den bedeutenderen Alexandrinern hohen Ruhm. Indessen hat er uns auch physikalische Arbeiten hinterlassen, da er Versuche zur Ermittelung des Gesetzes anstellte, nach welchen das Licht beim Eintritt in Wasser gebrochen wird. Er tauchte (Fig. 8) einen in 360° geteilten Kreis,

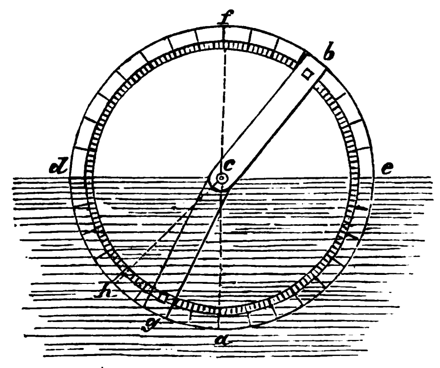



Fig. 8.

der zwei um seine Achse *c* drehbare Lineale trug, bis zur Mitte in Wasser und rückte das untere Lineal so, dass die Stifte *b, c* und *g* eine gerade Linie *b c h* zu bilden schienen. Dann nahm er den Kreis heraus und las die Bogen *be* und *gd* oder *fb* und *ag* ab. Den Zusammenhang zwischen beiden Winkeln festzustellen, gelang ihm jedoch nicht. Er kam nur zu der Vermutung, dass für bestimmte, vom Lichtstrahl durchlaufene Stoffe Einfalls- und Brechungswinkel in einem unveränderlichen

Verhältnisse ständen. Diese Versuche haben eine gewisse Bedeutung gewonnen, weil **Ptolemaios** sie selbst, nicht nur ihre Resultate mitgeteilt hat. Man glaubte annehmen zu müssen, dass dies fast die einzigen wären, die das Altertum gemacht hat. Dass dies nicht richtig ist, haben wir gesehen.

Seine geographischen und astronomischen Arbeiten legte **Ptolemaios** in einem Werke nieder, das er *Μεγάλη συντάξις* (grosse Sammlung) nannte. Diesen Titel übersetzten die Araber in ihre Sprache, wo er Tabrir al magesthi lautete, der durch Abkürzung in Almagest überging, und da das Werk in arabischer Übersetzung auf uns kam, so ist es unter diesem Titel bekannt und berühmt geworden. **Ptolemaios** entwickelte in demselben die Ansicht von der Einrichtung des Planetensystemes, welche bis auf **Coppernicus** in Gültigkeit blieb. Indem er die Planeten sich auf Epicykeln bewegen liess, auf Kreisen, deren Mittelpunkte wieder Kreise beschrieben, gelang es ihm zwar die Planetenbewegung genau darzustellen, aber auch nur dies; denn dass die Bewegung der Planeten wirklich so erfolgte, daran war auch damals nicht zu denken. Das Almagest bedeutet also einen Verzicht auf die Lösung des grossen Problems für anderthalb Jahrtausende. Die Genauigkeit der Darstellung der Bewegung der Planeten wurde übrigens noch erhöht durch Berücksichtigung der astronomischen Strahlenbrechung, die alle Sterne mit Ausnahme der im Zenith befindlichen höher erscheinen lässt, als sie stehen, eine Thatsache, die dem griechischen Astronomen **Kleomedes** bereits um Christi Geburt bekannt war.

Mit **Ptolemaios** erlischt die Reihe der griechischen Gelehrten, von denen selbständige grössere Arbeiten auf uns gekommen sind. Die Folgezeit beschäftigte sich hauptsächlich mit Sammeln und Bearbeiten des Vorhandenen. Namentlich sind durch solche Thätigkeit einige römische Schriftsteller wichtig geworden, indem sie uns in ausführlicher Weise die Kenntnisse, über die ihre Zeit verfügte, zusammengestellt haben. Zunächst der Baumeister des Kaisers Augustus Marcus **Vitruvius** Pollio, den wir bereits erwähnten, und sein Zeitgenosse Titus Carus **Lucretius,** der ein Lehrgedicht *De rerum natura* verfasste, ferner der aus Corduba (Cordova) stammende Lucius Annäus **Seneca,** der Lehrer des Kaisers Nero, der im Jahre 65 sich auf Befehl seines Schülers und Herrn die Pulsadern öffnete, und besonders der Veronese Cajus **Plinius** Secundus, der Verfasser eines ungemein reichhaltigen und wichtigen Sammelwerkes, welcher beim Ausbruch des Vesuvs vom Jahre 79 seiner Wissbegierde zum Opfer fiel, indem er sich zu nahe an den tobenden Berg hinanwagend in den Dünsten desselben erstickte.

Nach **Ptolemaios** interessieren uns aus der Zahl der Alexandriner noch die Mathematiker **Pappus** und **Theon,** und des letztern Tochter **Hypatia,** die um die Mitte des 4. Jahrhunderts n. Chr. lebten. Von **Pappus** stammt die später von **Guldin** nochmals gefundene Regel, welche den Körperinhalt eines Umdrehungskörpers leicht bestimmen lässt. **Theon** und **Hypatia** dagegen beschäftigten sich nur mit der Abfassung von Kommentaren, doch knüpft sich an der letztern Namen die einzige noch zu erwähnende Erfindung des Altertums, die des Volumaräometers.

Dass Regenwasser leichter als jedes andere Wasser sei, Wein aber noch leichter als jenes wusste bereits **Hippokrates,** der berühmteste der koischen Ärzte dieses Namens, der um 400 v. Chr. lebte. Zur Zeit der **Hypatia** hielt man das harte Wasser für ungesund und erfand einen Apparat, das Baryllium, mit dessen Hilfe man beide leicht unterscheiden konnte. Zuerst erwähnt und beschrieben wurde es in einem Briefe des Bischofs **Synesios** von Ptolemais an Hypatia. Danach bestand dasselbe, Fig. 9, aus einem hohlen geteilten Cylinder aus Blech mit angesetztem massiven Kegel, der den in Wasser getauchten Apparat in senkrechter Lage schwimmen liess, und bis in das vorige Jahrhundert waren ähnliche Apparate zu gleichem Zwecke im Gebrauch. So nahe es nun lag, den Begriff des spezifischen Gewichtes, des Verhältnisses zwischen Gewicht und Volumen eines Körpers aufzustellen, so kam man im Altertum nicht darauf und die Behauptung, **Archimedes** habe diesen ausgesprochen und auch das Aräometer erfunden, ist falsch.



Fig. 9.

In dieser Zeit des Niederganges physikalischer und mathematischer Forschung waren es die Ärzte, die rüstig fortarbeitend Veranlassung zur Ausbildung chemischer Methoden gaben. Im ersten Jahrhundert n. Chr. hatte der aus Anazarba in Kleinasien stammende Arzt **Dioskorides,** dessen Mittel heute noch bei seinen türkischen Kollegen in hoher Achtung stehen, eine Anzahl solcher gefunden, darunter die erste Reaktion auf nassem Wege, nämlich die Erkennung des als Verfälschung des

Grünspans benutzten Eisenvitriols mit Hilfe von Galläpfelsaft, auch ein freilich noch sehr rohes Destillationsverfahren zur Gewinnung von Quecksilber angegeben. Dieses verbesserte aber **Synesios** und nach ihm in der ersten Hälfte des 5. Jahrhunderts **Zosimos** aus Panopolis und beide gaben der chemischen Forschung dadurch neuen Aufschwung. Dass aber auch schon früher in den verschiedensten Provinzen des römischen Weltreichs und den angrenzenden Ländern mancherlei technologische und metallurgische Prozesse bekannt waren und geübt wurden, teilt uns der aus Amasia in Kappadokien stammende Grieche **Strabon** mit, der sein grosses Reisewerk im 1. Jahrhundert v. Chr. schrieb. Man reinigte das Silber durch Zusammenschmelzen mit Blei, konnte Gold und Silber trennen, benutzte den kaustischen Kalk und verschiedene Alkalien und bereitete nach des 200 Jahre jüngern, in Pergamos in Kleinasien geborenen Arztes **Galen** Mitteilung Seife aus Talg, Holzasche und Ätzkalk. Die reinste und fetteste Seife stammte damals aus Deutschland, weniger gut war die gallische, jene eine Kaliseife, da sie aus der Asche von Landpflanzen bereitet wurde, diese eine Natronseife, da man zu ihrer Herstellung Seegewächse verbrannte. Die Art, wie die Ärzte die Heilmittel verwandten, war allerdings der Wissenschaft nicht förderlich. Gesundheit und Krankheit hatten ihren Grund in der Mischung der vier Elemente im Körper. Führte der Überschuss des einen zur Krankheit, so wurde sie durch Einführung eines das entgegengesetzte verstärkenden Heilmittels bekämpft, wobei die aristotelische Klassifikation zu Grunde gelegt wurde.

Wir haben die Geschichte der Naturwissenschaft im Altertum bis zur **Hypatia** fortgeführt, welche 415 in den Kämpfen, die damals auch in Alexandrien zwischen Christen und Heiden entbrannten, ein gewaltsames Ende fand. Längst war an allen Orten der übrigen bekannten Welt die Kriegsfackel entzündet und der Wissenschaft die beschauliche Stätte, die für sie Lebensfrage ist, entzogen. Das Römerreich war in zwei Hälften zerfallen, und wenn auch in Byzanz unter dem Schutze des oströmischen Kaisers die Wissenschaft nicht völlig erlosch, so verharrte sie in dem Scheinleben des fortwährenden inhaltslosen Wiederholens der Werke der grossen Meister vergangener Jahrhunderte, und neuer Aufschwung war nirgends zu sehen. Die übrigen Teile des Römerreiches aber wurden von kriegerischen wilden Horten jugendkräftiger Stämme durchzogen, die alte Kultur sank in Trümmer und als 476 der letzte weströmische Kaiser vom Throne gestossen wurde, da schien alle Hoffnung auf ein Wiederaufleben der Wissenschaft für Jahrhunderte begraben. Auch vom alexandrinischen Museum konnte man nichts mehr erwarten. Die Bibliothek war zerstört, die Wissenschaft verpönt. Die alte Welt ging zu Grabe, eine neue Zeit, welche die Geschichte das Mittelalter nennt, begann.

---

II.

# Die Geschichte der Physik im Mittelalter.

## Die Araber.

Zwar waren in den Augen der Römer die Germanen, welche die ewige Stadt ihres Ranges als Hauptstadt der Welt entkleideten, Barbaren und das semitische Volk der Araber, als es Alexandrien eroberte, war als nichts besseres anzusehen. Trotzdem erwiesen sich die Befürchtungen, welche man an das siegreiche Vordringen beider Völker infolgedessen knüpfen musste, als gegenstandslos. Beide strebten, sobald sie mit der höhern Kultur in Berührung gekommen waren, sogleich sich dieselbe anzueignen, und wenn auch die Germanen damit um einige Jahrhunderte früher begannen, so überholten die Araber sie bald, freilich nur, um nach verhältnismässig kurzer Zeit aller ihrer Errungenschaften wieder verlustig zu gehen. Die Germanen dagegen wurden je länger je mehr die Träger der Kultur des Abendlandes und ihre Fortschritte nahmen mit der Zeit an Ausdehnung und Erfolg nur zu. Im Interesse der ununterbrochenen Darstellung der letzteren wenden wir uns zunächst zu den Arabern.

Im Anfange des 7. Jahrhunderts hatten sie die Weltbühne betreten. Ihre Rolle als Vertreter der Wissenschaft übernahmen sie erst, als im Orient der Abbaside **Abû'l ʿAbbâs,** der Blutige, die Herrschaft der Omaijaden stürzte, und der den Untergang seines Geschlechtes allein überlebende **ʿAbd Arrahmân** Spanien als selbständiges Kalifat von dem grossen Reiche losriss. Während er 755 die hohe Schule zu Cordova stiftete, gründete **Abû Dschaʿfar al Mansûr** (der Siegreiche) in der Nähe des alten Babylon 764 die Stadt Bagdad, berief griechische Gelehrte an seinen Hof und liess eine indische Astronomie übersetzen. Sein Sohn und Nachfolger **Hârûn ar Raschîd** (der Gerechte), der von 786 bis 809 regierte, setzte das vom Vater begonnene Werk fort und gründete in seiner Hauptstadt eine Hochschule, sein Enkel **ʿAbdallah al Mamûn** (der durch Vertrauen Beglückte) endlich benutzte während seiner Regierungszeit (813—833) glückliche Kriege mit dem oströmischen Reiche, um sich anstatt der Kriegskosten Manuskripte aushändigen zu lassen. Er war es, der durch seinen Arzt **Hunain ibn Ishâk** und dessen Sohn das Almagest zuerst übersetzen liess. Als dann 972 sich Ägypten unabhängig machte, wurde in Kahira (Cairo) die dritte arabische Hochschule gegründet, die seitdem an dem Wettstreit in der Förderung der Wissenschaften eifrig sich beteiligte.

Aber nicht alle Zweige der Naturwissenschaften wurden von den Arabern mit gleicher Liebe gepflegt. Chemie, Astronomie, Mathematik und Optik bevorzugten sie, wie die Griechen, in einseitiger Weise. Cordova besass bereits zur Zeit seiner Gründung den gelehrten Chemiker, dem seine Kenntnisse die Beinamen des magister magistrorum und

des philosophus perspicacissimus verschafften, den 702 in Mesopotamien oder Chorasan geborenen, in Cordova 765 verstorbenen **Abû Mûsâ Dschâbir***), der öfter unter dem Namen **Geber** angeführt wird. Den sieben damals bekannten Metallen Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Eisen und Quecksilber, welche zu den Planeten in geheimnisvolle Beziehung gesetzt waren, fügte er das Zink, Antimon, Arsen, Kobalt und Mangan, wenigstens in ihren Erzen, hinzu. Er kannte die Salpetersäure und die Schwefelsäure und namentlich verdanken wir ihm genaue Beschreibungen der damals üblichen chemischen Manipulationen und Gerätschaften. Nach seiner Ansicht bestehen alle Metalle aus Schwefel und Quecksilber, worunter freilich nicht die Elemente zu verstehen sind. Vielmehr ist der Sulphur das zersetzbare, leicht Veränderungen eingehende Prinzip, der Mercurius dagegen das nicht zu zersetzende, der Träger der den Metallen eigentümlichen Eigenschaften. Nicht nur in verschiedenen Mengen, sondern auch in verschiedenen Graden der Reinigung und des Fixiertseins sind beide Prinzipe in den Körpern enthalten und so ist die Metallverwandlung möglich. Diese älteste chemische Theorie wurde indessen nicht allgemein angenommen. Nach **Ibn Chaldûns** (1332—1406) Zeugnis wenigstens haben sich ihr **Al Kindî** (gest. 850) und der unter dem Namen **Avicenna** (Abû ʿAlî Husain ibn ʿAbdallâh ibn Husain ibn ʿAlî as-Schaich ar-Ra'is ibn Sînâ) bekannte Arzt, der, um 980 in der Bucharei geboren, 1037 starb und den Wissensschatz seiner Zeit zusammenstellte, nicht angeschlossen.

---

*) abû = Vater, ibn = Sohn.

Bald drangen chemische Präparate in die Medizin ein; der 932 gestorbene Bagdader Arzt **Rhazes** (Muhammed ibn Socharjah Abû Bekr ar-Râzî), der die Ursache des Untergehens der Sterne in einer Bewegung des Himmels sah, war ein eifriger Chemiker, und der Cordovaner **Albukases** (Chalaf ibn ʿAbbâs Abû'l Kasan) schrieb 1100 das erste pharmazeutische Werk, den sogenannten Servitor, das bereits den Weingeist aufführt; ihm folgte 1150 das berühmtere von **Averrhoës** (Muhammed Abû'l Walid ibn Achmed ibn Roschd) verfasste, das Colliget.

Haben somit die Araber in der Chemie originelle Leistungen aufzuweisen, so ist nicht dasselbe zu sagen hinsichtlich der Mathematik und der Astronomie. Wenn sie in der Behandlung der erstgenannten Wissenschaft trotzdem im 8. Jahrhundert eine völlige Umwandlung hervorriefen, so verdankten sie diesen Erfolg den Indern, deren Zahlzeichen sie einführten. Zwar waren diese schon im 2. Jahrhundert n. Chr. in Alexandrien, Rom und Westafrika bekannt geworden, aber ohne das Zeichen für die Null, welches die Inder selbst noch nicht hatten. In der genannten Zeit erhielten sie dieselben Zahlzeichen, aber mit der Null, die sie das indische Sunya, das Leere, übersetzend as-sifr nannten, aus welchem Wort sowohl Ziffer, wie Zero gemacht ist, und konnten nun die jetzt auch von uns noch geübte Art zu rechnen einführen.

Aber auch andere Vorteile brachte der Verkehr mit Indien. Dort waren dem 598 geborenen **Brahmagupta** die Auflösung der bestimmten Gleichungen ersten und zweiten Grades mit einer Unbekannten, der unbestimmten Gleichungen zweiten Grades und viele Anwendungen der Algebra auf

die Geometrie gelungen. Diese Fortschritte machten sich der 836 geborene Abû'l Hasan **Tâbit ibn Kurrah** ibn Marwân al Harrânî und **Muhammed ibn Mûsâ** ibn Schâkir zu nutze; dem letztgenannten gelang auch die Berechnung sphärischer Dreiecke. **Albategnius** (Muhammed ibn Dschâbir ibn Sinân Abû 'Abdallâh al Battâni), der 880 Statthalter des Kalifen in Antiochien war, ersetzte die Sehnen durch die Sinus, und suchte die Algebra und Trigonometrie weiter zu führen, während der 1008 in Ägypten verstorbene **Ibn Jûnus** (Abu'l Hasan 'Alî ibn Abi Sa'îd 'Abderrahmân) sich bereits der trigonometrischen Tangenten bediente. Auch mit der Konstruktion von Sonnenuhren beschäftigten sich die genannten Gelehrten und suchten astronomische Tafeln zu berechnen, von denen die hakemitischen des Ibn Jûnus am bekanntesten wurden.

Die Längenmasse der Araber waren die der Griechen, die königliche Elle zu 24, die schwarze Elle zu 27 Zoll, wo sie den Zoll als die Länge von sechs hintereinandergelegten Gerstenkörnern definierten. Mit diesem Mass liess 827 **Al Mamûn** durch Abû Dscha'far **Muhammed ibn Mûsâ Alchwarizmî** in der Wüste Sindjar am arabischen Meerbusen eine Gradmessung ausführen. Von einem Punkte mit genau bestimmter Polhöhe gingen die Messenden zunächst um einen Grad in gerader Linie nordwärts und ebenso weit nach Süden und massen jedesmal die zurückgelegten Wege mit der Messkette. Sie fanden bei der ersten Messung 56, bei der letzten $56^2/_3$ Meilen, hielten aber die letztere Zahl für die zuverlässigere. Nach der mühsamen Vergleichung mit neueren Massen, die am Anfang des vorigen Jahr-

hunderts der Leidener Professor **Snellius van Royen** ausführte, ergiebt dieselbe die Länge eines Meridiangrades zu 58710 Toisen, also um 1700 Toisen grösser, als die jetzt angenommene, während die erste Messung einen nur um 1355 Toisen zu grossen Wert giebt.

Mit dem 11. Jahrhundert trat eine Erschlaffung der asiatischen Araber in der Beschäftigung mit der Wissenschaft ein, die zu der Skepsis des Chorasaner **Algazels** (El Gazali, 1058—1127) führte. Es übernahm seitdem Spanien die führende Rolle. Hier hatte der Kalif **Hakem** II. (961—976) die Akademie in Cordova gegründet, aber durch Berufung von Juden und Christen an dieselbe die Muhammedaner so erbittert, dass es den Morabaten gelang, mit ihm die Dynastie der Omaijaden vom Throne zu stossen, bei welcher Katastrophe leider die Bibliothek **Hakems** vernichtet wurde. Doch blühte nun die nach dem Muster der cordovanischen eingerichtete Akademie zu Toledo empor, wo um 1080 **Arzachel** (El Zerkali) die astronomischen Tafeln berechnete, welche unter dem Namen der toledinischen bekannt wurden, auch den Wert der Schiefe der Ekliptik, welche man zu **Al Mamûns** Zeiten zu 23° 35′ angegeben hatte, auf 23° 34′ bestimmte.

Die Abhängigkeit der Araber von der griechischen Wissenschaft beweisen besonders ihre Arbeiten auf dem eigentlich physikalischen Gebiete. Nur solche Aufgaben haben sie weitergeführt, die das Altertum bereits gestellt hatte. Namentlich unternahm der 1038 in Ägypten verstorbene **Al Hazen** (Abû ʿAlî al Hasan ibn al Hasan ibn Alhaitam el Basri), der nicht mit dem cordovanischen

Arzt Abd el Rahman ibn Ishak ibn al Haitam, der um 1100 lebte, zu verwechseln ist, eine Prüfung der von **Ptolemaios** zur Bestimmung des Brechungswinkels unternommenen Versuche. Der Apparat, den er dazu benutzte, besteht aus einer kupfernen Scheibe *a* (Fig. 10) mit aufgesetztem Kupferring *b*, der eine Kreisteilung trägt, aber auf $^1/_4$ seines Umfanges unterbrochen ist. Bei *c* hat derselbe ein kreisrundes Loch und ein ebensolches weist die kleine, bei *d* senkrecht zu *a* aufgestellte kupferne Platte auf. Mittels des Stiftes *h*, der in eine grössere Scheibe passt, kann *a* in senkrechter Lage gehalten werden. Stellt man sie nun bis zu ihrer Mitte *m* in Wasser und beobachtet den Punkt *f*, der alsdann in der Verlängerung von *cd* zu liegen scheint, so kann man leicht den Winkel *emf* bestimmen, der die Ablenkung des Strahles giebt und seine Änderung mit dem Komplement des Höhenwinkels *cmg*. Wenn nun auch **Al Hazen** nachwies, dass die von **Ptolemaios** aufgestellte Beziehung zwischen beiden unrichtig war, so gelang es ihm doch nicht, dieselbe durch eine bessere zu ersetzen. Mit **Avicenna** verwarf **Al Hazen** die damals herrschende Ansicht über das Sehen, dass die Vereinigung vom Auge ausgehender Sehstrahlen mit der Luft die Gesichtsempfindungen hervorrufe, erklärte

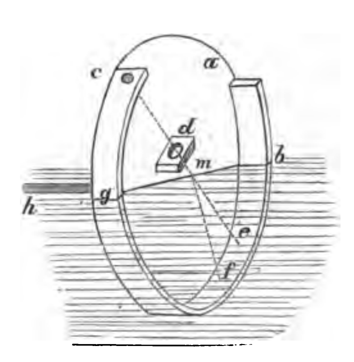


Fig. 10.

dieselben in einer der jetzt als richtig erkannten nahekommenden Weise vielmehr aus dem vom leuchtenden Punkt in das Auge, dessen anatomischen Bau er kannte, eindringenden Lichtkegel. Sodann behandelte er eingehender die astronomische Strahlenbrechung und fand, dass die letztere beginnt oder eintritt, wenn die Sonne 19° unter dem Horizonte sich befindet. Aus dem Umstande, dass wir das Himmelsgewölbe als flaches Ellipsoid ansehen, erklärte er in befriedigender Weise die Thatsache, dass Mond und Sonne im Horizonte grösser erscheinen. Wenn er dann weiter die scheinbare Form des Himmelsgewölbes daraus begreiflich machen wollte, dass die im Horizonte befindlichen Gestirne mit den viel näheren irdischen Gegenständen verglichen werden können, so wurde er Urheber einer zwar immer noch verbreiteten aber unhaltbaren Ansicht.



Fig. 11.

Noch bessere Ergebnisse erhielten die arabischen Gelehrten auf hydrostatischem Gebiete. Nicht nur haben sie den Begriff des spezifischen Gewichtes ausgebildet, sieha ben auch recht brauchbare Methoden angegeben, um dasselbe zu finden. Nach **Al Khazînîs** 1137 verfasstem Buche, der Wage der Weisheit, benutzte Abû al Raihan al **Birûni** dazu den in Fig. 11 abgebildeten Apparat, den man als erstes Pyknometer bezeichnen könnte. Es bestand aus

einem kegelförmigen Gefäss *G*, mit seitlichem Ausguss *a*, bis zu welchem es mit Wasser gefüllt wurde. War dies geschehen, so wurden die zu untersuchenden Körper hineingeworfen, die aus *a* ausfliessende Wassermenge ermittelt und daraus das spezifische Gewicht des Körpers bestimmt. **Al Khazînî** benutzte zu demselben Zwecke eine gleicharmige Wage mit nicht weniger als fünf Wagschalen, von denen eine verschoben werden konnte. Zur Wägung im Wasser legte er die Körper in eine sechste Wagschale, welche an eine der anderen angehängt werden konnte. Die von den beiden arabischen Forschern erhaltenen Zahlen weichen nicht gar viel von denen ab, die unsere Zeit als richtig ansieht.

Mit dem Anfange des 13. Jahrhunderts lässt der Eifer der muhammedanischen Völker in der Beschäftigung mit den Wissenschaften nach. Wenn sie auch nicht ganz aufhören, so werden ihre Veröffentlichungen doch so selten, dass wir ihre Betrachtung zweckmässiger an geeigneter Stelle später einschalten. Es wird dabei auch die für uns wichtigste Seite der wissenschaftlichen Thätigkeit der Araber hervortreten, die Aufbewahrung vieler Errungenschaften des griechischen Geistes für seinen wahren Erben, für das christliche Abendland.

## Das christliche Abendland und die späteren Araber.

Getragen von der Begeisterung für ihre neue Religion hatten die Muhammedaner in kürzester Zeit die grössere Hälfte der gebildeten Welt erobert, nur das scharfe Schwert **Karl Martells** und die Festigkeit der Mauern des alten

Byzanz hatten das Christentum vor völligem Untergang bewahrt. Solchem raschen Aufschwung folgte nur zu bald hoffnungsloser Niedergang. Langsamer war die Bildung der christlichen Staaten vor sich gegangen, und die unruhevolle Zeit der Völkerwanderung war der Beschäftigung mit den Wissenschaften allzu ungünstig gewesen. Erst nachdem die Klöster dem Einzelnen die Ruhe zur wissenschaftlichen Beschäftigung gewährten, waren Erfolge auch in den Naturwissenschaften möglich, und so verdanken wir derselben Geistlichkeit die Erhaltung und Förderung der Lehren, deren weitere Ausbildung sie später mit Bannfluch und Scheiterhaufen verfolgte.

Klein freilich und unbedeutend waren ihre Anfänge. Der Besieger jenes **Odoaker**, der dem weströmischen Kaisertum ein ruhmloses Ende bereitet hatte, der Ostgote **Theodorich**, war es, der den ersten Versuchen, die antike Wissenschaft nach dieser Katastrophe neu zu beleben, Schutz und Ermunterung angedeihen liess. Am Hofe des oströmischen Kaisers **Zenon** erzogen, waren ihm ihre Segnungen nicht fremd geblieben, und so war es sein Ratgeber Magnus Aurelius **Cassiodorius** Senator (475—570), welcher in einem Sammelwerke das Wissen seiner Zeit zusammenfasste, während sein Zeitgenosse, der vornehme Römer Anicius Manlius Severinus **Boethius** (481—524) die griechischen Schriftsteller in seine Muttersprache übersetzte. **Boethius** endete, des Verrates angeklagt, sein Leben auf dem Schafott, **Cassiodorius** aber zog sich in seinem hohen Alter in ein von ihm gegründetes Kloster zurück, wo er den Rest seiner Tage den Wissenschaften widmete. War er doch als einer der ersten dem Beispiele **Benedikts von**

**Nursia** gefolgt, der 529 auf dem Monte Cassino bei Neapel das erste Kloster ins Leben gerufen hatte.

Allgemeinere Nachahmung fand der Stifter der Benediktiner zuerst in England und Irland, und aus den dortigen Klöstern stammten die begeisterten Männer, welche den noch heidnischen Deutschen das Christentum brachten. Wenn daselbst auch vorwiegend die theologischen Wissenschaften gepflegt wurden, so wurden Mathematik und Astronomie nicht vernachlässigt und namentlich war es der ehrwürdige **Beda** (672—735), welcher die Naturwissenschaften freilich in völliger Abhängigkeit von den Alten bearbeitete. Zu seiner Schule gehörte **Alcuin,** eigentlich Alh-win (735—804), den der mächtige Begründer des Deutschen Reiches, der grosse **Karl,** 782 an seinen Hof berief, um ihn selbst und seine noch ungefügen Franken in den Künsten des Friedens zu unterrichten. Sein Werk setzte sein Schüler, der „erste Lehrer Deutschlands" **Hrabanus Maurus,** der 856 als Erzbischof von Mainz starb, fort, und wenn auch er nur überlieferte, was er in den Werken der Alten fand, ja sich vielfach nur mit dem begnügte, was der Bischof **Isidor von Sevilla** Hispalensis (570—636), in einem encyklopädischen Werke davon zusammengetragen hatte, so war dies für die Deutschen damaliger Zeit doch schon unendlich viel und sie bildeten sich an der Hinterlassenschaft der Römer.

Der Römer, nicht der Griechen! Denn griechische Handschriften waren damals ebenso selten, wie Gelehrte, welche sie lesen konnten. Aber die römischen Schriftsteller wiesen so oft auf die griechischen, aus denen sie schöpften, hin, dass die Begierde, auch ihre Werke kennen zu

lernen, sehr gross wurde, und dies namentlich, seitdem der aus Pavia gebürtige Erzbischof von Canterbury **Lanfrank** auf die Brauchbarkeit der aristotelischen Dialektik für die Theologie aufmerksam gemacht hatte. Bei der mangelnden Kenntnis des Griechischen glaubte man die Araber mit Erfolg zu Rate ziehen zu können und der gewöhnlichen Ansicht nach soll der in der Auvergne als Sohn unbemittelter Eltern geborene **Gerbert,** der 999 als **Sylvester II.** den päpstlichen Stuhl bestieg und ihn bis zu seinem 1003 erfolgten Tode inne hatte, die Werke der Araber der Christenheit zugänglich gemacht haben. Doch scheint derselbe, obwohl er sich lange in dem christlichen Spanien aufhielt, gar nicht nach Cordova gekommen zu sein, und seine Schriften und Lehren lassen wohl die Benutzung der Werke des **Boethius** und des **Isidor Hispalensis,** aber nicht die der Araber erkennen. Dass er die diesen geläufige Rechenkunst gelehrt habe, ist auch deshalb in höchstem Masse unwahrscheinlich, weil eins der ältesten deutschen Rechenbücher, das 1489 **Johannes Widman** aus Eger herausgab, wie derselbe ausdrücklich bemerkt, nach indischen oder arabischen Schriften bearbeitet wurde, was nicht nötig gewesen wäre, wenn diese bereits bekannt waren. Wenn nun auch noch nicht zu **Gerberts** Zeiten, so ging man doch später um so eifriger auf die arabischen Quellen zurück, als die Nachbarschaft der Araber und Christen in Spanien und namentlich in Sizilien, wo noch Kaiser **Friedrich II.** die arabischen Gelehrten sehr hoch hielt, endlich die Berührung, in die Morgen- und Abendland durch die Kreuzzüge kam, dieselben immer leichter zugänglich machten. Von den Arabern erhielten die Christen

damals die Schriften des **Aristoteles**, wenn auch in sehr entstellenden Übersetzungen. Es war für die Wissenschaft ein Danaergeschenk. Denn aus ihnen nahm die christliche Philosophie der damaligen Zeit, die **Scholastik**, die Terminologie und den Schematismus, mit deren Hilfe sie die Lehren der Kirche in ein System brachte, und es galt bald für ketzerisch, in irgendwelcher Weise an des Stagiriten Schriften Kritik zu üben.

Ausser diesen erhielten die Christen wahrscheinlich noch zwei Erfindungen von den Arabern, die möglichenfalls aus dem fernen China stammten, das Schiesspulver und den Kompass. Über der Erfindung des erstgenannten Stoffes schwebt tiefes Dunkel, da sich ihrer sehr bald die Sage bemächtigte, von dem letztern ist sicher, dass ihn die Chinesen lange vor Beginn unserer Zeitrechnung benutzt haben, um sich auf den Lössebenen ihres Landes, die an öder Gleichförmigkeit mit dem weiten Meere wetteifern, zurecht zu finden. Von da entnahmen erst die chinesischen Seefahrer den unschätzbaren Wegweiser. Sein gebräuchlicher Name **Bussole** wird meist von dem italienischen Bussola, das Büchschen, abgeleitet, doch hat man ihn auch aus dem arabischen Mo-uassala erklären wollen. Sicher ist, dass man die Eigenschaft auf Holz gelegter schwimmender Magnete, nach Norden zu weisen, schon im 12. Jahrhundert im Abendland kannte, und es kann somit dieselbe nicht, wie auch behauptet wird, erst 1320 von dem Italiener **Flavio Gioja** entdeckt worden sein.

Die Bande, in welche die Scholastik die freie Forschung geschlagen hatte, konnten die Universitäten, deren mehrere

man im 13. Jahrhundert in England, Italien und Frankreich, im 14. in Deutschland gegründet hatte, nicht zerreissen. Vielmehr halfen sie dieselben fester schnüren. Denn ihre Lehrer gehörten fast ausnahmslos den Mönchsorden an. In den Händen der Geistlichkeit lag somit alle wissenschaftliche Thätigkeit, mit Ausnahme weniger Unternehmungen, wie die Herstellung der astronomischen Tafeln, die 1252 König **Alfons X.** von Kastilien durch arabische, jüdische und christliche Gelehrte berechnen liess und welche ihm zu Ehren die alfonsinischen genannt wurden.

Wer demnach, wie Graf **Albrecht von Bollstädt** (1193 bis 1280), der in den Dominikanerorden getreten war und nach einem unsteten Wanderleben in Köln das Zeitliche segnete, nicht von den Pfaden der Scholastik wich, dem konnten jene Bande nicht verhängnisvoll werden. Wegen der von ihm herrührenden Zusammenstellung des damaligen Wissensschatzes behielt er vielmehr den Beinamen des Grossen oder des Doctor universalis, und die neuen empirischen Thatsachen, die er fand, waren nicht derart, dass sie ein Hindernis geworden wären, den Ruf der Rechtgläubigkeit, den er im Leben genoss, nach seinem Tode in den der Heiligkeit zu steigern. Nicht so gut ging es dagegen dem Franziskaner **Roger Bacon** (1214 bis 1284), dem Doctor mirabilis der mittelalterlichen Schriftsteller. Dass er an der Autorität des Stagiriten rüttelte, wurde ihm freilich nicht verhängnisvoll; denn dessen Werke waren damals zur Abwechselung gerade des Atheismus verdächtig und ihre Lektüre hatte man eine Zeit lang verbieten zu müssen geglaubt. Aber indem er die Beweiskraft des Experimentes über jede andere setzte und grössere

Gelehrsamkeit verlangte, geriet er mit der herrschenden Richtung in Gegensatz und musste mehrmals dafür im Kerker büssen. Doch widersprach er der Scholastik selbst nicht. Namentlich optische Aufgaben waren es, mit denen er sich beschäftigte. Er bestimmte die Lage des Brennpunktes eines sphärischen Hohlspiegels in befriedigender Weise und fand, dass nicht bei einem solchen, wohl aber bei einem parabolischen die zurückgeworfenen Strahlen sich genau in einem Punkte schneiden. Zum Erfinder des Fernrohrs hat ihn nur ein Übersetzungsfehler gemacht; die Kenntnis gewisser Spiegelwirkungen und der Art der Herstellung parabolischer Spiegel auf Schilderungen hin, die er ganz bestimmt nicht experimentell geprüft haben kann, bei ihm vorauszusetzen, ist ebenso verkehrt, als ihn zum Märtyrer wegen Auflehnung gegen die Scholastik zu machen.

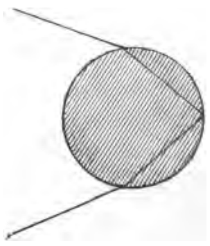
**Albertus Magnus** und **Roger Bacon** standen hinsichtlich des Problems, das damals für das wichtigste der Naturwissenschaften galt, hinsichtlich des Problems der Metallverwandlung mittels des Steines der Weisen, völlig auf dem Boden ihrer Zeit. In dieser Hinsicht kamen sie mit **Arnoldus Villanovanus** (1235 oder 1248—1312 oder 1314) und mit **Raymundus Lullus** (1235—1315) überein, deren Werke, so unverständlich sie zumteil waren, lange Zeit bestimmenden Einfluss auf die grosse Zahl derer, die Alchemie trieben, ausübten. Beide Männer kamen mit der Kirche häufig in Konflikt, da sie auch der Magie anhingen, die **Roger** nicht anerkannte. **Villanovanus** hatte vielfache Ketzerverfolgungen auszustehen, denen sich **Lullus** wohl nur dadurch entzog, dass er sich zum Missionar der Heiden in Nordafrika aufwarf. Die Chemie verdankt

ihm die Einführung mancherlei neuer Manipulationen für Anstellung genauer Versuche.

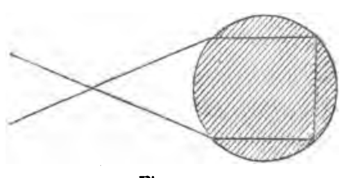
Immerhin blieb die Optik der Teil der Physik, mit dem sich auch die zunächst folgende Zeit allein eingehend beschäftigte. Damals kam es auf, die Spiegel mit Folie zu belegen, wozu man zunächst Blei benutzte. Auch die Kunst des Schleifens von Glaslinsen erblühte und man bediente sich ihrer als Brillengläser, fasste dieselben aber noch nicht in Gestelle, sondern in einen Lederlappen, der anstatt des Schildes an der Mütze befestigt vor dem Gesichte herabhing. Der Erfinder der Brillen soll seiner Grabschrift nach der 1317 verstorbene florentinische Edelmann **Salvino degli Armati** gewesen sein, als Jahr der Erfindung wird 1285 angegeben.

Theoretisch behandelte die Optik der Erzbischof von Canterbury Joh. **Peckham** (1228—1291), der ihren damaligen Standpunkt in einem besondern Werk darstellte, und ebenso beschäftigte sich der Pole **Witelo** um 1270 mit diesem Teile der Physik, der den damals bereits allgemein als richtig angenommenen Satz aussprach, dass die Natur stets nach der Richtung der kürzesten Linie wirke. Die Erklärung des Regenbogens in der gegenwärtig noch angenommenen Weise lieferte, allerdings ohne die Farben zu erklären, der Predigermönch **Theodorich von Freiberg** in Sachsen in einer 1311 verfassten Schrift. Ihn aber kann man nicht mehr als den ersten Urheber dieser Ansicht betrachten, seit man sie in einer früher veröffentlichten Schrift, einem von Kamâl ed Dîn Abû al Hasan **al Fârisî** verfassten Kommentar der Werke **Al Hazens** gefunden hat. Doch auch von diesem rührt sie

nicht her. Vergeblich habe er, erzählt er, in den Schriften seiner Vorgänger nach einer Erklärung der schönen Himmelserscheinung gesucht, bis ihm eine solche der Perser Kotb ed Dîn Abû al Tanâ Mahmûd ibn Masûd **al Schîrasî** (1236—1311) mitgeteilt habe. Danach entstehe der Hauptregenbogen nach Anleitung der Fig. 12 durch zweimalige Brechung und einmalige Reflexion, der Nebenregenbogen, wie Fig. 13 zeigt, durch zweimalige Brechung und zweimalige Reflexion. Wie bei einer Glaskugel, mit Hilfe welcher die vorgetragene Ansicht experimentell bestätigt wurde, treten alsdann die Farben auf. Die Bogenform aber ergiebt sich dadurch, dass alle Tropfen, welche auf einer Kegelfläche liegen, deren Spitze das Auge ist, sich einander gleich verhalten.


Fig. 12.

Übrigens steht **Al Schîrasî** in damaliger Zeit als Gelehrter von Bedeutung in Persien nicht allein da. In Meraragh im nordwestlichen Teil dieses Landes gründete der nach der Eroberung Bagdads durch den Mongolenfürsten **Ilek-Khan** im Jahre 1258 von dort auswandernde Chorasaner **Nassir-Edin** (1201—1274) eine Sternwarte, zu welcher ihm sein neuer Herr die Mittel bewilligte, und berechnete dort aus seinen Beobachtungen eine neue


Fig. 13.

Auflage der hakemitischen Tafeln, die er nun die ilekkhanischen nannte. Sein 1283 in Irak in Persien verstorbener Zeit- und Landesgenosse Zaccaria ibn Mahmud al Kufi **al Kazwînî** aber verfasste zu der nämlichen Zeit eine Kosmographie, die nicht ohne Interesse ist. Ja, im 15. Jahrhundert verlor sich die Astronomie bis zu dem fernen Samarkand, dessen Beherrscher Mirza Mahmud ibn Sahroh **Ulug Bek** (1394—1449) eine Sternwarte und astronomische Akademie gründete, die unter anderm wichtige Planetentafeln herausgab. Aber auch jetzt konnte es die Wissenschaft im Orient nicht zu regelmässigem Fortschritte bringen. Während der erwähnte Anlauf in der Ausübung der Wissenschaften der letzte dort gemachte ist, nahmen sie im Abendlande den Aufschwung, der zu ihrem stetigen Fortschreiten, zu immer grösserer Selbständigkeit führte und den wir deshalb als den Beginn unserer heutigen Wissenschaft betrachten.

## Der Übergang zur neuen Zeit.

Die neue Zeit pflegt man in der allgemeinen Geschichte mit der Entdeckung von Amerika und der Reformation beginnen zu lassen. In der Geschichte der Physik tritt jedoch die Wirkung dieser auch für sie so wichtigen Thatsache nicht sogleich ein. Es verfliesst vielmehr noch ein ganzes Jahrhundert, bis die früheren Betrachtungsweisen solchen weichen, welche den modernen artverwandt sind. Dieses Jahrhundert ist bezeichnet durch die von Geistlichen oder Ärzten ausgehenden Versuche, die Fesseln der Scholastik abzuwerfen, ein immer gefährlicheres

Beginnen, da die Kirche sich immer mehr mit jenen Lehren identifizierte.

Indessen mehren sich rasch die Beweise, dass ihre Ansprüche nicht zu rechtfertigen sind. Zunächst bringen griechische Gelehrte, aus dem 1453 von den Türken eroberten Konstantinopel flüchtend, die Urtexte der Schriften der alten Griechen und die Kenntnis ihrer Sprache in das Abendland. Man findet, dass die Texte nicht mit den von der Kirche anerkannten übereinstimmen, die gleichzeitig auftretende Kunst des Buchdruckes ermöglicht sie auch in weiteren Kreisen bekannt zu machen. Das Erstaunen wächst, als ganz neue Welten entdeckt werden, auf die die Kirche unmöglich die Ansprüche haben konnte, die sie sogleich erhob. Und nun sagt sich **Luther** und ein grosser Teil Deutschlands gänzlich von der Kirche los. Des Reformators Übersetzung der Bibel zeigt, dass auch die heilige Schrift von der Kirche in Übersetzungen gehandhabt wird, welche von dem Urtext derselben abweichen. Da konnte es denn nicht fehlen, dass sich die wissenschaftliche Forschung von den unwürdigen Banden zu befreien strebte. Im Anfange dieses Zeitraumes ist sich die Kirche der Gefahr, welche ihr droht, noch nicht bewusst. Aber bald genug erkennt sie dieselbe und begegnet nun Einwendungen gegen die scholastisch-aristotelische Lehre mit Inquisition und Ketzergericht.

Die Naturwissenschaft geht unterdessen langsam ihren Gang; es wird ihr nicht leicht, mit altgewohnten Anschauungen zu brechen und neue an deren Stelle zu setzen. Die Art der Veröffentlichung wird eine andere

und mit ihr werden es die Mittel, die die Priorität einer Erfindung sichern sollen. Zwar ermöglicht der Buchdruck, ein vollendetes Werk rasch in Vieler Hände zu bringen, aber es dauert lange, bis ein solches fertiggestellt wird. Eine neue Erfindung muss jedoch rasch zu allgemeiner Kenntnis kommen. Geht das nicht an, so muss der Erfinder im stande sein, den Zeitpunkt seiner Erfindung auch noch nach Jahren nachzuweisen. Hierzu schlägt man einen doppelten Weg ein. Man veröffentlicht die verstellten Buchstaben des die Erfindung verkündenden Satzes entweder, ohne in die neue Ordnung einen Sinn zu legen, oder indem man statt ihrer einen Satz abweichenden Inhaltes giebt. So teilt **Galilei** die Entdeckung der Sichelgestalt der Venus mit den Worten mit:

Haec immatura a me frustra leguntur O. Y.

deren Buchstaben sich umordnen lassen in den Hexameter:

Cynthiae figuras aemulatur mater amorum.

Anagramm nannte man eine solche Umstellung. Man giebt aber auch, und dieses Verfahren ist bei den Mathematikern beliebter, den Fachgenossen Aufgaben auf, die sie nur lösen können, wenn sie im Besitz der neuen Wahrheit sind, und lässt dann die Auflösung folgen. Auch im nächsten Zeitraum werden beide Verfahrungsweisen noch häufig genug angewendet.

Zuerst begegnen wir Angriffen gegen **Aristoteles'** Annahme einer ruhenden Erde, die im Widerspruche mit seiner Bewegungslehre erscheint. Sie gingen von einem Kirchenfürsten aus, dem Kardinal **Nicolaus de Cusa,** der, 1401 als Sohn eines Schiffers Chrypffs (Krebs) zu Cues an der Mosel geboren, 1463 in Umbrien starb.

Da die natürliche Bewegung keines Antriebs bedarf, schliesst derselbe, die Kreisbewegung aber eine natürliche ist, so muss ein kugelförmiger Körper, wie die Erde, in rotierender Bewegung sein, bei welcher alle seine Punkte Kreise beschreiben. Der Himmel dreht sich also während eines Tages nicht um die Erde, sondern diese in derselben Zeit sich um ihre Achse. Diese Bewegung der Erde ist aber nicht ihre einzige, sie führt mit allen anderen Weltkörpern, die Sonne nicht ausgeschlossen, kreisförmige Bewegungen um als Weltpole gedachte Punkte aus, die in fortwährendem Wechsel begriffen sind. Eine Bewegung der Erde um die Sonne nimmt demnach der Cusaner nicht an. Auch liegt es ihm fern, auf ein Beharrungsvermögen der Körper oder ihrer Teile zu schliessen: Den Idealismus der aristotelischen Lehre glaubt er dadurch überwinden zu können, dass er das materielle Atom aus dem mathematischen Punkte entstehen lässt. Alles Erkennen ist nach seiner Ansicht ein Messen, als letzte Einheit zum Erkennen der Körperwelt aber setzt der erkennende Geist den mathematischen Punkt. Die Körperwelt ist die Entfaltung desselben, das Sein eines solchen Punktes in mehreren Atomen, und ein solcher Punkt ist nach Art eines Dinges, welches verschiedene Farben haben kann, zu denken. Indem also der Geist den Punkt als Mass der Dinge annimmt, ist es ihm möglich, dieselben zu erkennen. Aber nicht nur spekulativ, auch experimentierend sehen wir **Nicolaus de Cusa** thätig, und namentlich sind es messende Versuche, die er anzustellen sucht; mit Hilfe von Gewichtsveränderungen will er alle möglichen Dinge erkennen, und wenn er auch viele der Versuche, die er

beschreibt, auf keinen Fall gemacht haben kann, so konstruierte er doch das erste Hygrometer, indem er die Gewichtszunahme trockner Wolle in feuchter Luft bestimmte, und das erste Bathometer, indem er ein Gewicht und eine Hohlkugel im Wasser untersinken liess, die so mit einander verbunden waren, dass ihr Zusammenhang beim Aufstossen auf den Grund sich löste, und die Zeit beobachtete, die zwischen dem Verschwinden und Wiedererscheinen der Hohlkugel verfloss.

Einem Manne von **Nicolaus'** Gelehrsamkeit und Initiative musste die Unmöglichkeit, die Bestimmung der Kirchenversammlung von Nicäa vom Jahre 325, dass die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche immer auf den 21. März fallen sollte, auf die Dauer mit dem julianischen Kalender in Einklang zu bringen, die schon **Beda, Roger Bacon** u. a. hervorgehoben hatten, ein grosser Stein des Anstosses sein. Wirklich setzte er auch bei dem Papste **Sixtus IV.** den Beschluss durch, die so nötig gewordene Kalenderreform ins Leben zu rufen. Hierzu bedurfte es aber weiterer Vorarbeiten und um diese auszuführen berief der Papst den Nürnberger Drucker und Astronomen **Regiomontan** (1436—1476) nach Rom.

**Regiomontan**, der eigentlich **Müller** hiess, hatte sich seinen neuen Namen von seinem Geburtsort Königsberg bei Hassfurt in Unterfranken beigelegt. Er hatte an der Universität in Wien, wo der Mathematiker **Heinrich von Hessen** (gest. 1397) gelehrt hatte, unter dem dessen Schule angehörigen **Georg Purbach** (1423—1461) sich ausgebildet und mit seinem Lehrer den Entschluss gefasst, die bedeutenden Fehler der damals allgemein im Gebrauch

befindlichen alphonsinischen Tafeln zu verbessern, wozu eine Reise nach Italien erforderlich schien. Nach **Purbachs** allzufrühem Tod hatte er sich allein auf den Weg gemacht und war mit bisher unveröffentlichten, aus Konstantinopel stammenden Manuskripten beladen zurückgekehrt, zu deren Herausgabe er eine eigene Druckerei in Nürnberg angelegt hatte. Nun folgte er dem Rufe des Papstes, aber die Kalenderreform musste doch unterbleiben, da er plötzlich, sei es an der Pest, sei es an Gift, starb.

Wenn ihm Jemand Gift gemischt hat, so sind es die Söhne **Georgs von Trapezunt** (1396—1485) gewesen, eines Griechen, der, 1430 nach Rom berufen, dort eine Übersetzung des Almagest besorgt hatte. Er hatte **Regiomontan** im Griechischen unterrichtet, war aber mit ihm in bittere Feindschaft geraten, als der junge Deutsche jene Übersetzung rücksichtslos kritisiert hatte. Nach des letzteren Tode nahm indessen die Veröffentlichung der Urtexte, die er mitgebracht hatte, ihren Fortgang. Seine hinterlassenen Arbeiten aber gab **Schoner** heraus, während seine astronomischen Beobachtungen **Walther** fortsetzte. Auch anderer Männer, die damals in Nürnberg lebten und wissenschaftlich thätig waren, sei bei dieser Gelegenheit gedacht, des Reisenden **Martin Behaim,** des Geographen **Werner** und des Mechanikers **Hartmann.** Es war die Zeit von Nürnbergs höchster Blüte, die Zeit der Gründung der Akademie, spätern Universität, in dem nahe gelegenen Altdorf.

Käme es zur Beurteilung der Leistungen eines Mannes nur auf den Erfolg an, den dieselben auf Mit- und Nachwelt ausübten, dann dürften wir hier den grossen

Maler und Bildhauer **Leonardo da Vinci**, der, 1452 in Vinci bei Florenz geboren, 1519 als Hofmaler des Königs von Frankreich im Schlosse Cloux bei Amboise starb, nachdem er lange Zeit in Diensten des Herzogs **Franz Sforza** von Mailand gestanden hatte, nicht nennen. Denn seine Werke sind erst 1797 durch **Venturi** veröffentlicht worden, drei Jahrhunderte zu spät, um den Gang der Geschichte der Physik von Grund aus zu ändern, wie sie bei rechtzeitigem Erscheinen gethan haben würden. Sie lassen deutlich erkennen, dass ihr Urheber seiner Zeit weit voraus war, seine Erfindungen mussten mühsam von anderen, ja teilweise sogar erst von **Galilei** noch einmal gemacht werden. Einen Vorwurf kann man seiner Zeit deshalb daraus, dass sie seine Werke nicht berücksichtigte, weil sie sie nicht verstanden habe, nicht machen. Im Gegensatz zu **Nicolaus de Cusa** glaubte **Leonardo,** dass auch die Kreisbewegung eines Antriebes bedürfe, und hatte somit eine, wenn auch noch dunkle Vorstellung vom Beharrungsvermögen der Körper. Er wusste, dass ein über eine schiefe Ebene $AC$ Fig. 14 fallender Körper sovielmal mehr Zeit, als ein von $A$ nach $B$ fallender braucht, wie $AC$ länger ist, als $AB$. Den Hebel betrachtete er von allgemeinerem Gesichtspunkte, als damals üblich war, und erkannte in der Rolle und dem Rad an der Welle Hebel. Auch über die Wirkungsweise der Maschinen hatte er Ansichten, die noch heute gelten, wenn er auch das allgemeine Prinzip, aus dem sie

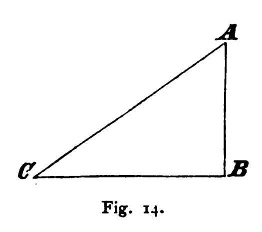


Fig. 14.

folgen, das der virtuellen Geschwindigkeiten, noch nicht gefunden hat. Die Reibung, das Verhalten von Flüssigkeiten in kommunizierenden und kapillaren Röhren, die Wellenbewegung hat er mit Erfolg untersucht, auch eine Camera obscura, wenn auch ohne Linse, hergestellt. Ähnlich, wie die Entstehung des Bildes gegenüberliegender Gegenstände in ihr, dachte er sich den Vorgang des Sehens.

Man wird immer bedauern müssen, dass alle diese schönen Ergebnisse ohne Nutzen für Mit- und Nachwelt blieben und dass die damalige Wissenschaft, statt unter Führung des Genius in kurzer Zeit einen gewaltigen Schritt vorwärts zu thun, gezwungen wurde, in mühsamer Arbeit erst nach mehr als hundert Jahren wieder dahin zu kommen, wohin **Leonardo** so viel früher gelangt war. Mit den mechanischen und mathematischen Problemen beschäftigten sich zunächst der Mathematiker **Tartaglia** (1506—59) und der Arzt **Cardano** (1501—76). Da sie sich aber von dem aristotelischen Unterschied gewaltsamer und natürlicher Bewegung nicht losmachen konnten, erfuhr die Bewegungslehre durch ihre Arbeiten nur die Förderung, dass **Cardano** der Luft die Rolle der Vermittlung des Antriebes bei gewaltsamer Bewegung nahm. Mit seinem Namen verknüpft ist eine Regel, die die Auflösung von Gleichungen dritten Grades ermöglicht. Doch gehört der Ruhm, sie gefunden zu haben, dem Bologneser **Ferro** (gest. 1525), der eine ihre Kenntnis voraussetzende Aufgabe den Mathematikern seiner Zeit vorlegte. Die Lösungsmethode teilte er in einem Anagramme **Cardano** mit, sie war aber nicht versteckt genug, denn diesem gelang die Entzifferung und er veröffentlichte sie nunmehr unter

seinem Namen. Da er als Schriftsteller sehr bekannt war, so verbreitete sie sich rasch, als seine Erfindung. Indessen hat sich die Geschichte an ihm gerächt. Sie hat nämlich der Befestigung eines Körpers in drei Ringen, die ihm gestattet, sich an drei auf einander senkrechten Achsen zu drehen, und von **Cardano** erdacht worden ist, den Namen des Engländers **Hooke**, von dem später die Rede sein wird, mitgegeben. Auch erfand **Cardano** das noch viel im Gebrauch befindliche Vorlegeschloss, das mit drehbare Buchstaben tragenden Ringen versehen ist, die auf ein bestimmtes Wort gestellt werden müssen, wenn das Schloss geöffnet werden soll, und schlug vor, die Pulsschläge als Zeitmass zu benutzen. Grösseres Verdienst aber erwarb er sich, indem er erkannte, dass die Luft zur Verbrennung von Körpern notwendig ist, und sich die Wärme aus Bewegung entstehend dachte.

**Leonardo da Vincis** Auffassung der Rolle und des Rades als Hebel bildete der Marchese **Ubaldo del Monte** (1545—1607) noch einmal aus. Umfassender aber waren auf mechanischem Gebiet die Arbeiten des niederländischen Deichinspektors **Simon Stevin** (1548—1620) und sie würden für dasselbe die grösste Bedeutung erlangt haben, wenn sie rechtzeitig bekannt geworden wären. Dass sie von den Zeitgenossen kaum beachtet wurden, war indessen die eigne Schuld ihres Verfassers, der wie die Schriftsteller des Altertums das Recht für sich in Anspruch nahm, sich seiner Muttersprache zu bedienen, die doch nur von wenigen Gelehrten verstanden wurde. Dies war um so mehr zu bedauern, als sich bei **Stevin** der so überaus wichtige Satz vom Parallelogramm der Kräfte

zuerst findet, wenn auch in noch etwas unbeholfener Form. Greifen drei Kräfte *P*, *Q* und *R* an einem Punkte *a* (Fig. 15) an, lautet er in **Stevins** Fassung, so sind sie im Gleichgewicht, wenn sich aus ihnen ein Dreieck (Fig. 16) bilden lässt. Auch seine theoretischen und experimentellen Arbeiten über die flüssigen Körper kamen zu Ergebnissen, die für die Wissenschaft von grösster Bedeutung geworden sind. Er hat bereits gefunden, dass der Bodendruck einer Flüssigkeit nicht von der Form des Gefässes, sondern nur von der Höhe ihres Spiegels über dem Boden desselben abhängt, hat die Grösse des Seitendrucks einer in einem parallelepipedischen Gefässe befindlichen Flüssigkeit untersucht und aus der Betrachtung der Gleichgewichtsbedingungen in kommunizierenden Röhren das Prinzip der hydraulischen Presse entwickelt. Auch hat er gezeigt, dass ein Körper im stabilen Gleichgewicht schwimmt, wenn sein Schwerpunkt in einer Senkrechten unter dem Schwerpunkt der von dem Körper verdrängten Flüssigkeit liegt. Gegen die Ansicht des **Aristoteles**, dass die Geschwindigkeit, die fallende Körper erreichen, von ihrem Gewichte abhänge,

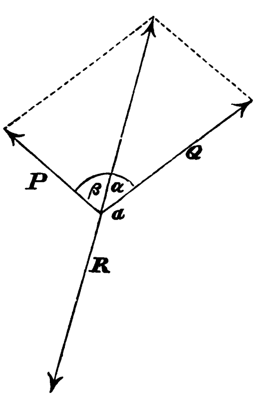


Fig. 15.

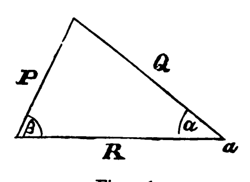


Fig. 16.

machte er in ähnlicher Weise, wie der Professor der Philosophie in Padua **Piccolomini** (1520—1604), geltend, dass dann eine Anzahl ihrer Unterlage beraubter Ziegelsteine verschiedene Fallgeschwindigkeit erlangen würde, jenachdem man sie einzeln oder mit einander verbunden fallen lässt, was doch mit den Thatsachen nicht übereinstimmt.

So sah die erste Hälfte des 16. Jahrhunderts eine Anzahl Werke entstehen, die die Grundlagen der Lehre des **Aristoteles** und damit der Scholastik lockern mussten. Um die Mitte desselben, im Jahre 1543, trat dann das Werk in die Öffentlichkeit, welches, allerdings viel später, jene Lehre stürzen sollte, die Schrift des **Nicolaus Coppernicus** „De revolutionibus orbium coelestium". Von deutschen Eltern 1473 zu Thorn geboren, hatte sich der spätere Canonicus am Dome zu Frauenfeld nicht mit dem Ptolemaiischen Weltsystem befreunden können. Da er nun beim Studium der Alten auch auf die Ansicht gestossen war, dass sich die Erde um die ruhende Sonne bewege, und erkannt hatte, dass dieselbe zu einer überaus einfachen und naturgemässen Darstellung des Planetensystems führen müsse, so hatte er versucht, auf sie eine andere Anschauung vom Bau desselben zu gründen. Dabei war er freilich so weit davon entfernt, dies im Gegensatz zu der herrschenden Lehre zu thun, dass er dieselbe vielmehr seiner Entwickelung zu Grunde legte. Bewegte sich die Erde, so konnte diese Bewegung, da sie ewig ist, nur eine natürliche, mithin eine Bewegung im Kreise sein, in dessen Mittelpunkt die Sonne sich befindet, und was von der Erde gilt, musste auch auf die Planeten

ausgedehnt werden. Alle diese Himmelskörper müssen aber auch, wie die scheinbare Bewegung des Himmels beweist, um ihre Achse rotieren, also eine zweite natürliche Bewegung ausführen. Trennt sich dabei ein Teil eines Planeten vom Ganzen, so kommt zu der Kreisbewegung eine geradlinige, aus beiden ist die Bewegung solcher abgetrennter Teile, also die Bewegung fallender Körper zusammengesetzt, und es verhält sich dieselbe somit zu der Bewegung der ganzen Erde, wie die Zustände des Individuums zum Gattungscharakter. Wenn nun auch nicht diese einzelnen Behauptungen neu waren, so war es doch ihre Zusammenstellung, die neue Lehre musste aber Bedenken erregen, da sie einigen Stellen der Bibel zu widersprechen schien. Erst nach langem Zögern entschloss sich daher **Coppernicus** zu ihrer Veröffentlichung in Buchform. Seine Arbeit wurde in Nürnberg gedruckt, doch erlebte er ihr Erscheinen nicht mehr, der erste fertige Druckbogen soll ihm 1543 auf dem Sterbebette vorgelegt worden sein. So konnte er auch nicht mehr rügen, dass der lutherische Prediger **Osiander** (Hosemann, 1498—1552), der den Druck des Werkes besorgte, seine Vorrede unterdrückt und durch eine andere, an den Papst **Paul III.** gerichtete ersetzt hatte, in der die neue Lehre lediglich als eine Hypothese behandelt wurde, die man unter anderen auch machen könne.

**Coppernicus'** Werk erregte bei seinem Erscheinen nur in geringem Masse die Aufmerksamkeit der Astronomen. Der angesehenste derselben, der Hofastronom Kaiser Rudolfs II. **Tycho Brahe** (1546—1601), wandte ein, dass die rasche Bewegung der Erdoberfläche doch bemerkbar

sein müsste, dass unmöglich an derselben alle Bewegungen so erfolgen könnten, als ob die Erde in Ruhe wäre, wie es doch der Fall ist. Doch hatte auch **Tycho** eine Abänderung des Ptolemaiischen Systemes für nötig gefunden. Er liess die Planeten um die Sonne Kreisbahnen beschreiben, diese aber sich um die Erde im Kreise drehen. Der erste der beobachtenden Astronomen damaliger Zeit **Landgraf Wilhelm IV., der Weise, von Hessen-Kassel** (1532—92), der älteste Sohn **Philipps des Grossmütigen,** sprach sich weder für noch gegen **Coppernicus** aus. Durch **Apianus** (Bienewitz, 1495—1552) hatte er mit neuen, eigens zu diesem Zweck erdachten Instrumenten begonnen, durch genaue Beobachtungen der Astronomie die sichere Grundlage zu geben, deren sie vor allen Dingen bedurfte. Mit Hilfe des Bernburger **Rothmann** (gest. 1597) und namentlich des Toggenburger **Joost Byrgi** (1552—1632) bearbeitete er ein Sternverzeichnis, in das 1032 Sterne eingetragen werden sollten, welche Zahl aber nicht weiter als zu 121 gefördert worden ist. Die neue, auf genauen Zeitbestimmungen beruhende Methode hatte das Bedürfnis besserer Uhren ergeben und war Veranlassung zur Berufung **Byrgis** geworden, der ein sehr geschickter Mechaniker und Uhrmacher war. Bald aber zeigte sich, dass die nun so viel vollkommeneren Beobachtungen auch vollkommenere mathematische Methoden zu ihrer Berechnung erforderten, und hier bahnbrechend vorgegangen zu sein, wird **Byrgi** immer zu um so höherem Ruhme gereichen, als er, der nicht einmal Latein verstand, ohne genügende Vorbildung, alle die wichtigen, von ihm eingeführten Fortschritte, so zu sagen aus sich selbst, zu machen hatte. Er wandte

zuerst in den Rechnungen die Dezimalbrüche und die Logarithmen an, berechnete die ersten Logarithmen- und Sinustafeln, deren Originale noch auf der Stadtbibliothek zu Danzig vorhanden sind. Seine Berufsgeschäfte liessen ihn aber nicht dazu kommen, sie zum Drucke zu befördern, und so kam ihm der schottische Lord **Napier** (1550—1617) damit zuvor, der selbständig auf die nämliche Idee gekommen war und 1614 die erste Logarithmentafel veröffentlichte. Von ihm rührt auch die Bezeichnung der Logarithmen her.

Dem Wittenberger Professor der Mathematik **Reinhold** (1511—53) verdanken wir den ersten Versuch, die Coppernicussche Lehre für die Astronomie nutzbar zu machen. Unterstützt vom Herzog **Albrecht von Preussen** berechnete er neue astronomische Tafeln, die er zu Ehren des genannten Fürsten die prutenischen nannte. Sie erschienen 1557 im Drucke und wurden der Kalenderreform zu Grunde gelegt, die endlich Papst **Gregor XIII.** energischer als seine Vorgänger in Angriff nahm. 1582 war sie zur Einführung bereit und der Papst ordnete an, die Tage vom 5. bis 14. Oktober dieses Jahres aus dem Kalender zu streichen. Doch geschah dies in so anmassendem Tone, dass die protestantischen Fürsten den neuen Kalender in ihren Ländern nicht einführten. Erst nach hundert Jahren gelang es den Bemühungen **Leibnizens,** ganz Deutschland für denselben zu gewinnen, England und Schweden blieben noch weitere fünfzig Jahre dem julianischen Kalender getreu, der in Russland bis zum heutigen Tage gilt.

**Tycho Brahes** Einwand gegen die Bewegung der Erde konnte endgültig erst durch Erkenntnis des Beharrungsvermögens der Körper beseitigt werden. Von dieser war aber die damalige Zeit noch weit entfernt. Zwar hatte **Cardano,** indem er die Vermittlung der Luft oder eines andern Mediums bei Erhaltung der Bewegung eines Körpers ablehnte, in dieser Richtung den ersten Schritt gethan, und der Philosoph **Telesio** (1509—88) hatte sich ihm angeschlossen. **Giordano Bruno,** der 1600 als Märtyrer seiner Überzeugung den Scheiterhaufen bestieg, hatte den Einwand **Tychos** dadurch zu entkräften gesucht, dass er auf die alltägliche Erfahrung hinwies, wonach ein auf einem Schiff von einem bestimmten Punkte fallengelassener Körper immer an derselben Stelle ankommt, mag sich nun das Schiff bewegen oder nicht. In phantastischerer Weise hatten **Gilbert** und **Keppler** magnetische Kräfte zu Hilfe genommen, welche die Teile der Erdoberfläche hindern sollten, sich von den senkrecht unter ihnen liegenden Punkten zu trennen; einen wirklichen Fortschritt in dieser Frage brachten aber erst die Arbeiten des Mathematikers des Herzogs von Savoyen **Benedetti** (1530—90).

Indem **Benedetti** die Ursache der Geschwindigkeitszunahme fallender Körper in sich immer wiederholenden Kraftantrieben erblickt, macht er zum ersten Male den Versuch, die gewaltsame Bewegung durch kontinuierlich wirkende Ursachen zu erklären, wogegen die natürliche einem momentanen Antrieb ihre Entstehung verdanke. Jeder bewegte Körper besitzt nach seiner Ansicht die Neigung, in gerader Linie fortzugehen, die Kreisbewegung erklärt sich unter dieser Voraussetzung leicht aus dem Dasein zweier

Bewegungsantriebe, von denen einer den Körper in der Richtung der Tangente forttreibt, während der andere ihn nach dem Mittelpunkt zieht. Der tangentiale Antrieb befähigt z. B. den rasch rotierenden Kreisel auf der Spitze zu tanzen. Die Bewegung des geworfenen Körpers ist in ähnlicher Weise zwei Antrieben unterworfen, doch kommt **Benedetti** noch nicht dazu, auch die Form der Wurflinie festzustellen. So hat er die Bewegungslehre nicht unbedeutend gefördert, eine Durcharbeitung zu voller Klarheit, wie sie für die Auflösung weiterer Probleme notwendig war, ist ihm aber nicht gelungen.

Auch in der Lehre von den Elementen hatte sich **de Cusa** gegen die Ansichten des **Aristoteles** erklärt. Während er sich aber darauf beschränkte, die Entstehung des Atoms aus dem mathematischen Punkt zu untersuchen, bildete **Giordano Bruno** diese Lehre nach der physikalischen Seite weiter aus. Da seiner Meinung nach ein leerer Raum zwischen den Atomen nicht bestehen kann, so denkt er sich denselben mit dem Äther ausgefüllt, den er nicht nur als Stoff, sondern auch als Weltgeist denkt. Die Atome, auf deren absolute Grösse es dabei nicht ankommt, setzen dann die Körper zusammen; die Rolle des Äthers als Weltgeist lässt den Gedanken an einen Mechanismus der Atome nicht aufkommen, und so wird denn auch die Atomistik auf die alten Elemente nicht angewendet. Der Annahme eines beseelten Äthers begegnet man indessen schon vor **Bruno** bei dem Kölner **Agrippa von Nettesheim** (1486—1535), als dem Spiritus mundi, der Weltseele, die alle Erscheinungen der Körperwelt regelt. Diese aber besteht aus den vier

Elementen, jener stimmt überein mit dem fünften des **Aristoteles,** mit der Quintessenz.

**Agrippas** Ideen liessen sich mit denen der Alchemisten recht wohl in Einklang bringen, obwohl dieselben seit **Geber** nur die beiden Elemente Mercurius und Sulphur anerkannten, da der erste mit dem Spiritus mundi übereinkommt. Seit dem Anfang des 16. Jahrhunderts war beiden als drittes das Sal (Salz) zugesellt, als Vertreter des Feuerbeständigen, so von dem grosssprecherischen **Paracelsus von Hohenheim** (1493—1541) und dem sagenhaften **Basilius Valentinus.** Nach des letztern Meinung war ein „seelisches“ Wesen, das mercurialische Wasser, ein „geistliches“, der sulfurische Dampf, und ein „sichtigliches“, das irdische Salz, aus dem Nichts geschaffen und dadurch die Entstehung der Körperwelt ermöglicht. Seit **Cardano** die Annahme gemacht hatte, dass die Wärme durch Bewegung erzeugt werde, rechnete man das der Nahrung bedürftige Feuer nicht mehr zu den Elementen, ja hielt es gar nicht mehr für eine Substanz.

**Brunos** Ansichten wurden von den beiden Ärzten **Sennert** in Wittenberg (1572—1637) und **Basso** (um 1600) in Paris physikalischer und chemischer Verwendung fähig gemacht. Indem dann der Präsident des Parlamentes von Bordeaux **d'Espagnet** aus den Elementen sich die Grundsubstanzen bilden liess, unter Elementen aber die einfachsten Teile der ersten Materie verstand, gab er ihnen eine Bedeutung, welche mit der der Elemente in der Molekulartheorie übereinstimmt. Ja, der Pariser Professor **Gassendi** (1592—1655) ging so weit, die Wirkung des Lichtes und der Wärme aus Atomen zu erklären,

die vom leuchtenden Körper nach allen Richtungen hin weggeschleudert würden. Aber diese Lehren mussten geheim gehalten werden, in Paris war ihre Verbreitung durch Parlamentsbeschluss wegen ihres Widerspruches gegen die Scholastik bei Todesstrafe verboten. Doch galt dies Verbot nicht an anderen Orten, und so konnte der Brüssler Arzt **van Helmont** (1577—1644) den bedeutungsvollen weitern Schritt thun, dass er die Elemente in den Körpern räumlich neben einander ordnete und für sie das nunmehr gleichbedeutende Wort Atome wählte.

Eine besondere Wichtigkeit für die Entwickelung der Atomistik als Corpusculartheorie gewann das Verhalten des Wassers in der Luft. Noch war die bereits von **Plinius** ausgesprochene Ansicht, dass sich der eine dieser Körper in den andern verwandeln könne, allgemein angenommen; von ihr ging der Leibarzt der Königin **Elisabeth von England, Gilbert** (1540—1603), in einer diesen Gegenstand behandelnden Arbeit aus, die aber erst lange nach seinem Tode gedruckt wurde. Da er die Atomenlehre verwarf, so hatte es für ihn keine Schwierigkeit, eine Umwandlung der Luft in Wasser anzunehmen. Doch sollte dieselbe so erfolgen, dass die Luft zum Vapor, dem warmen und feuchten Dunste, dieser aber erst zu Wasser werde. Dem einzigen von ihm angenommenen Elemente, der Erde, aus der alles hervorgeht, entströmt die Luft, und steigt bis zur Höhe von einigen Meilen empor. Darüber breitet sich der leere Raum aus, zwischen den Atomen aber ist für einen solchen kein Platz. **Basso** und **d'Espagnet** unterscheiden dagegen bereits Luft und Wasserdampf, während **Bodin** (1530—96 oder 97) zwar

die vier Elemente beibehielt, aber durch Unterscheidung flüssiger und feuchter Körper die benetzende Eigenschaft des Wassers von der leichten Beweglichkeit seiner Teilchen trennt und so die Entwickelung des Begriffes der nicht tropfbaren Flüssigkeiten vorbereitete. Auch hier kam zuerst **van Helmont** zu grösserer Klarheit, indem er annahm, dass die Luft vermöge ihrer Trockenheit und Kälte das Wasser in luftförmigen Dampf verwandle, dessen Verschiedenheit vom Wasser in der Lagerung der beide zusammensetzenden Grundsubstanzen bestehe. Er machte somit zuerst einen Unterschied zwischen beiden Gasen, ja entdeckte in der Kohlensäure ein drittes. So wird ihm denn auch die erste Anwendung des Wortes Gas zugeschrieben; dasselbe soll von dem vlämischen Gahst (Geist, spiritus) seinen Ursprung genommen haben. Die Forschungen **van Helmonts** bilden somit auch in den Ansichten über die Gase den Wendepunkt zwischen scholastischer und moderner Anschauung.

Ein solcher Wendepunkt ist in den übrigen Teilen der Physik in dieser Zeit noch nicht aufzuweisen, in denen sich die Arbeiten weniger auf theoretischem, als auf experimentellem Gebiet bewegten. Immer noch sind es hauptsächlich die optischen und magnetischen Probleme, die die Wissenschaft beschäftigen. Zunächst war **Al Schîrasîs** und **Theodorichs** Erklärung des Regenbogens keineswegs sehr bekannt geworden, und so begegnen wir in dieser Zeit mehreren Versuchen, die freilich mit geringerem Erfolg dasselbe erstreben. Während der Breslauer Prediger **Fleischer** (1539—93) zwar Zurückwerfung und Brechung des Lichtes zur Entstehung der schönen

Erscheinung für nötig erachtet, aber beide nicht in dem nämlichen, sondern in verschiedenen Tropfen vor sich gehen lässt, hält der Canonicus von St. Jean in Chartres **Clichthove** (gest. 1543) den zweiten Regenbogen für des ersten Spiegelbild. So verkehrter Auffassung tritt zwar der Abt des Klosters Sta. Maria del Portu bei Castro nuovo **Maurolykus** (1494—1575) entgegen, da er aber den Bogen durch siebenmalige Reflexion ohne Brechung entstehen lassen will, kommt er zu gar keiner Erklärung desselben. Erst 1611 gelang es dem frühern Jesuiten **de Dominis** (1566—1624), der, zur Reformation übergetreten, sein Leben in den Kerkern der Inquisition endete, eine bessere, mit der **Al Schîrasîs** übereinstimmende Erklärung zu erhalten. Wenn nun auch **Maurolykus**' Versuche nicht zur Erklärung des Regenbogens führten, so waren seine Bemühungen auf experimentellem Wege über die Flächen grösserer Helligkeit, welche bei der Brechung der Lichtstrahlen in Kugeln entstehen, über die diakaustischen Flächen, zur Klarheit zu kommen von Erfolg gekrönt; auch erkannte er zuerst, dass die Linse im Auge wie eine Glaslinse wirken, die auf sie fallenden Strahlen in einem Punkt vereinigen müsse. Ist die Linse zu wenig gekrümmt, so entsteht Weitsichtigkeit, ist ihre Krümmung zu stark, so ruft dies Kurzsichtigkeit hervor. So erklärt sich die Wirkung der Brillengläser ohne weiteres. Die Erklärung des durch Fig. 17 S. 80 dargestellten Versuches, dass ein mit einem Loch versehener Schirm $D$ ein umgekehrtes Bild eines Lichtes $L$ auf einer hinter jenem befindlichen Fläche $F$ hervorruft, den, wie wir sahen, **Leonardo da Vinci** schon kannte, fand er in dem Umstande, dass

jeder Punkt von *L* eine kleine Stelle von *F* mit seiner Farbe und relativen Helligkeit erleuchten müsse, und dass, da diese somit in umgekehrter Reihenfolge, wie in *L*, neben einander liegen, ein umgekehrtes Bild von *L* entstehe.

Das umfassendste physikalische Werk jener Zeit, die „Magia naturalis“ des neapolitanischen Edlen **della Porta** (1538—1615), das auch viel später noch Nachahmungen hervorrief, hatte zum Zweck, eine Sammlung alles dessen

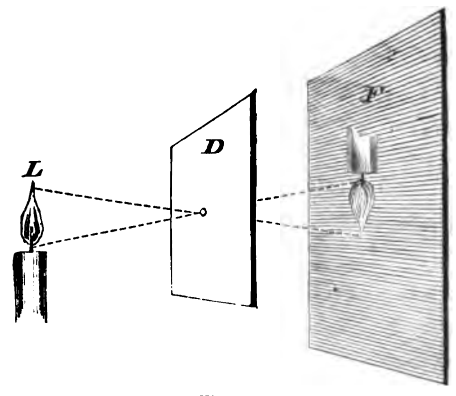


Fig. 17.

zu liefern, was bis zur damaligen Zeit auf dem Gebiete physikalischer Experimente geleistet worden war, und würde von der allergrössten Wichtigkeit sein, wenn der Verfasser seine Gewährsmänner genannt und das Brauchbare vom Eingebildeten gesondert hätte. Ihm aber auf phantastische Beschreibungen hin Erfindungen zuschreiben zu wollen, die ganz bestimmt einer spätern Zeit angehören, ist ebenso zu verwerfen, wie die Annahme, dass **Roger Bacon** der

parabolische Spiegel verfertigt habe. So können wir denn auch nicht mehr feststellen, ob er zuerst die Camera obscura anwendete, oder ob er ihre Kenntnis, wie mehrere seiner Zeitgenossen angeben, dem Benediktinermönch **Dom Panunce** verdankte. Er erhielt sie, indem er statt der kleinen Öffnung im Fensterladen, mit Hilfe deren er nach **Maurolykus'** Vorgang die gegenüberliegenden Gegenstände abbildete, eine grössere nahm und in diese eine Glaslinse einsetzte. Das erhaltene Bild gewann so sehr an Schärfe und Helligkeit. Indem er dann weiter als abzubildende Gegenstände auch transparente Bilder benutzte, die vor die Linse eingeschoben wurden, und die Entfernung des auffangenden Schirms entsprechend vergrösserte, gab er dem Apparat die Form der Laterna magica. Ferner enthält die Magia naturalis Versuche zur Bestimmung der Menge Dampf, welche man aus einer bestimmten Wassermenge erhalten kann, Untersuchungen über die Ausdehnung der Luft, die im Brennpunkt eines Hohlspiegels erzeugte Wärme und den Weg, den die Lichtstrahlen in Linsen nehmen. Das Funkeln der Sterne, dessen Ursache **Witelo** in der Bewegung der Luft gesucht hatte, erklärt **della Porta** aus Zerstreuung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre. Bemerkenswert sind endlich die von ihm mitgeteilten Versuche mit der Magnetnadel, von denen sogleich die Rede sein soll. Aber es ist nicht unmöglich, dass dieselben von dem Jesuiten **Gazzoni** (gest. 1592) herrühren.

Durch den Aufschwung der Seefahrt hatte die Eigenschaft der Magnetnadel, stets nach Norden zu weisen, eine erhöhte Bedeutung gewonnen. Im Vertrauen auf sie unternahm **Columbus** (1436—1506) seine kühne Fahrt

quer durch den atlantischen Ozean; er soll sehr erschrocken gewesen sein, als auf einmal die Nadel keine Abweichung mehr zeigte und dann um $^1/_2$ Strich ($5^\circ$ 30′) nach Westen abwich. Hieraus zu schliessen, dass **Columbus** die an verschiedenen Stellen der Erde verschiedene Abweichung der Nadel vom Meridian, ihre Deklination, entdeckt habe, dürfte indessen nicht angehen. Bekanntlich ändert sich die Deklination mit der Zeit, und da sie damals in Italien $9^\circ$ östlicher Abweichung betrug, so musste sie **Columbus** bereits vor seiner Abfahrt beobachtet haben. Er wird vielmehr die Änderung der Deklination mit der geographischen Länge gefunden haben. Wenn vorher die Deklination nirgends erwähnt wird, so wird man daraus schliessen müssen, dass man ihren Grund in fehlerhafter Magnetisierung suchte. Wenigstens hat dies noch 1545 der spanische Mathematiker **Pedro de Medina** (geb. 1493) in einem Werke über die Seefahrt gethan, und es führte sogar noch 1710 der Kasseler Professor **Zumbach von Koesfeld** (1661—1727) eine Magnetnadel mit zwei gegen einander und gegen die Nordhälfte verstellbaren Südhälften aus, die man so schieben konnte, dass die Nordhälfte genau im Meridian stand. Sorgfältigere Beobachter hatten sich indessen von ihrer verschiedenen Grösse an verschiedenen Orten doch wohl bereits überzeugt; so hatte sie der erwähnte Nürnberger Mechaniker, später Vicar an der Sebalduskirche, **Hartmann** (1489—1564) in Nürnberg 1536 zu $10^\circ$ 15′, in Rom zu $6^\circ$ bestimmt, und da die Magnetnadel nach **Agricolas** (1490—1555) berühmtem Werke „De re metallica“ 1530 schon zum Markscheiden benützt wurde, so wird man die Annahme nicht von der Hand weisen können, dass man auch dabei

die Deklination hatte beobachten müssen. Die Neigung, die eine um eine horizontale Achse drehbare Nadel gegen den Horizont annimmt, ihre Inklination, wurde 1544 von **Hartmann** entdeckt. Dass er sie sehr ungenau auf nur 9° bestimmte, während sie etwa das achtfache in Wirklichkeit betrug, spricht wiederum dafür, dass die benutzten Nadeln nicht sehr gleichmässig magnetisiert waren. Viel genauer fand sie 1576 der Engländer **Norman** mit dem zuerst von ihm konstruierten Inklinatorium zu 71° 50′.

Es muss freilich zugegeben werden, dass die theoretischen Vorstellungen, die man sich anfangs von der Richtungsursache der Magnetnadel gebildet hatte, die Auffindung der Deklination und Inklination sehr wenig begünstigten. Man glaubte anfangs, dass ein Punkt am Himmel die Nadel richtete, bis 1546 der berühmte Kartograph **Mercator** (1512—94) die Ansicht aussprach, dass dieser Punkt in der Erde liege. Aber nun sah man sie von Magnetbergen im Norden beeinflusst, und erst als **Gilbert** darthat, dass die Erde selbst ein grosser Magnet sei und die Magnetnadeln richtete, wurde die Forschung in bessere Bahnen gelenkt. Die Beobachtungen, die **Hudson** (gest. 1611) und **Baffin** (1584—1622) auf ihren Nordlandsfahrten machten, bestätigten **Gilberts** Annahme. Musste er auch, um seine Beobachtungen vollständig erklären zu können, Unregelmässigkeiten in der Gestalt der Erde zu Hilfe nehmen, so konnte er doch die Unhaltbarkeit der zu seiner Zeit auftauchenden Ansicht, wonach der Magnetismus die Achsendrehung der Erde bewirken sollte, nachweisen. Warum ein auf ein Stück Holz gelegter Magnet sich nur drehe und nicht dem Zuge nach Norden

folge, konnte er freilich nicht erklären, da er die Anziehung des Südpoles nicht beachtete, obwohl ihm die Anziehung und Abstossung ungleicher und gleicher Pole bekannt war. Den nach Norden zeigenden Pol nannte er deshalb einen Südpol, da ihn der Nordpol der Erde anzieht. Den von **della Porta** und **Hartmann** bereits beobachteten Thatsachen, dass die Wirkungen eines Magneten auch durch andere Körper erfolge und dass man einen Stahlstab durch Streichen mit den Polen eines Magneten in bestimmter Weise magnetisch machen könne, fügte **Gilbert** die neuen hinzu, dass es dazu genügt, den Stahlstab senkrecht aufzustellen, oder ihn zu hämmern, um ihn zu magnetisieren, dass aber ein Magnet durch Glühen unmagnetisch wird. Ebenso hatten ihn seine Versuche gelehrt, dass die Stücke eines Magneten stets diesem ähnliche Magnete sind und dass man den Magnetismus eines natürlichen Magneten durch Anlegen von Stücken weichen Eisens an die entsprechend abgearbeiteten Pole, durch Armieren, viel besser ausnutzen könne. Dass ihn alle diese Beobachtungen auf die nicht haltbare Idee führten, der Magnetismus bewahre die Teile der Erdoberfläche bei deren Umdrehung vor dem Abschleudern, haben wir bereits gesehen.

Förderte so **Gilbert** die Kenntnisse vom Magnetismus in hervorragender Weise, so war er auch der erste, der die wenigen elektrischen Versuche und Kenntnisse der Alten vermehrte und erweiterte. Zunächst fügte er dem Bernstein und Lynkurion eine Anzahl anderer Körper zu, welche durch Reiben ebenfalls elektrisch werden konnten, wie Schwefel und Kolophonium, während er von den Metallen das Gegenteil feststellte. Er fand ferner, dass

für das Gelingen solcher Versuche trockne Luft erforderlich ist, dass elektrische Körper andere elektrische oder nichtelektrische anziehen können, und Körper, die durch Reibung die Fähigkeit, andere anzuziehen, erhalten, nannte er zuerst elektrische.

Diesen mannigfachen Experimentaluntersuchungen hatte die Wissenschaft zwei weitere wichtige Fortschritte zu verdanken. Zunächst hatte sie die Forscher genötigt, sich die sokratische Methode der Induktion, aber mit folgender Deduktion anzueignen. Musste sie doch mittels jener aus den einzelnen beobachteten Fällen auf ein allgemeines Gesetz schliessen, mittels dieser aus dem Gesetz alle möglichen Einzelfälle ableiten. Von der Naturwissenschaft übertrug diese Methode, oder doch wenigstens die der Induktion, **Francis Baco** (1561—1626), der später Baron von Verulam und Lord-Grosskanzler von England wurde, auf die Philosophie, welcher sie abhanden gekommen war, und wurde so deren Wiederhersteller. Das Novum organon, dasjenige seiner Werke, welches diese Wiederherstellung einleitete, hat für die Naturwissenschaft keine selbständige Bedeutung, so viel Mühe man sich auch gegeben hat, eine solche heraus zu demonstrieren.

Sodann aber hatte das Experimentieren in dem Verfertigen von Apparaten geübt. Hatten auch die Beobachter meistenteils ihre Instrumente selbst herstellen müssen, so hatten sie doch auch viele oder wenigstens Teile derselben von Uhrmachern, Schlossern, Tischlern und anderen Handwerkern anfertigen lassen, denen dadurch solche Arbeiten geläufig wurden. Die Zeit aber bedurfte für technische Zwecke Kompasse, Sonnenuhren, Kanonen-

aufsätze, Kaliberstäbe u. s. w., für den häuslichen Gebrauch Brillengläser, und so bildeten sich Gewerbszweige aus, die die Herstellung dieser Gegenstände übernahmen.

Die Kunst, Brillen zu schleifen, war zuerst in Italien aufgekommen; sie wurde bald in die gewerbfleissigen Niederlande übertragen, wo sie besonders in der Stadt Middelburg auf Zeeland aufblühte. Die ursprünglich an der Mütze befestigten Lederlappen zur Befestigung der Linsen machten bald zierlicheren Fassungen aus Horn, diese später solchen aus Metall Platz. Die Metallarbeiten dagegen übernahmen hauptsächlich die Uhrmacher. Ihre Kunst war in den grossen Handelsstädten des Mittelalters in Nürnberg und Augsburg zu hoher Blüte gekommen. In so einfacher Weise, wie die Überlieferung diesen Aufschwung darstellt, dürfte er jedoch nicht erfolgt sein. Wenn sie erzählt, dass **Heinrich von Wiek** im 14. Jahrhundert die Turmuhren mit Horizontalpendel, der Nürnberger **Peter Hele** (gest. um 1540) 1511 die Taschenuhren, die die Kraft einer gespannten Feder im Gange hält, erfunden, so steht einer solchen Entwickelung die Thatsache entgegen, dass beide Uhren bei grosser Vollkommenheit eine solche Einfachheit zeigen, dass man nicht umhin kann, sie als Endglied einer vielleicht Jahrhunderte langen Entwickelung anzusehen, von der wir erst hören, als, vielleicht durch die genannten Männer, eine weitere Zuthat ihre allgemeine Verwendbarkeit ermöglichte. **Byrgi, Hartmann, Hans Troschel** in Nürnberg (1550—1612) bildeten sich dann zu mechanischen Künstlern heraus, und mustern wir die noch vorhandenen Sammlungen von Instrumenten, welche im 16. Jahrhundert hergestellt sind, so treten uns

neben einigen italienischen Namen die der beiden **Schissler**, der von **Paulus Reinmann**, **Christoph Tresler**, **Ulrich Schniep**, **Jacob Hofmann**, **Hans Buschmann**, **Erasmus Habermel**, **Hans Ducher** u. a. zu oft entgegen, als dass man in ihren Trägern nicht Vorstände mechanischer Werkstätten, die die damals verlangten Apparate lieferten, sehen müsste. Die Anfänge der mechanischen Kunst in Deutschland liegen also im 16. Jahrhundert.

So war alles zu erneutem Aufschwung der Naturwissenschaft vorbereitet, die Aufgaben waren gestellt, methodische und instrumentale Hilfsmittel geschaffen und geprüft, ein reicher experimenteller Stoff vorhanden; es fehlte nur noch der geniale Mann, der sich dieser Aufgabe bemächtigte, sie zusammenfasste und sie fortführend die Wissenschaft mit neuem Geist erfüllte. Aber auch diesen sah das scheidende sechzehnte Jahrhundert bereits an der Arbeit, es war **Galileo Galilei**.

---

III.

# Geschichte der Physik in der neuen Zeit.

## Galilei, Keppler und Snell.

Mit **Galileis** Arbeiten beginnt die neue Zeit, weil die Methode, deren er sich bedient, die Anschauungen, zu denen er kommt, denen unserer Zeit artverwandt sind. Aber er verarbeitet das ihm von seinen Vorgängern überkommene Material, und so sind die Ergebnisse, zu welchen er gelangte, keineswegs immer haltbar. Wenn auch in den meisten Fällen, so gelingt es auch diesem grossen Manne nicht immer, die scholastischen Ideen vollständig zu überwinden, und so kommt es vor, dass in seinen Werken Altes und Neues unvermittelt neben einander steht. In rastloser Thätigkeit immer weiter vordringend, klären sich seine Anschauungen erst nach und nach, und indem er alle seine Errungenschaften gegen eine widerstrebende Welt behaupten muss, sind seine Schriften vorwiegend polemisch gehalten und zu diesem Zwecke grösstenteils in der Form des Dialogs abgefasst, die er meisterhaft handhabt. Aber vorsichtige Zurückhaltung ist nicht seine Sache, und so giebt er einesteils den niedergeworfenen Gegnern Gelegenheit zu einer Rache, die ihn selbst an den Rand

des Untergangs führt, und ermöglicht anderenteils falschen Freunden und ehrgeizigen Schülern, Ideen als die ihren zu veröffentlichen, die dem Meister gehörten. Bedenkt man weiter, dass **Galileis** Nachlass nur durch einen glücklichen Zufall vor gänzlicher Vernichtung bewahrt und erst lange nach seinem Tode gedruckt wurde, so wird man sich nicht wundern, dass es keineswegs immer leicht ist, seine Priorität nachzuweisen. Dabei hat man stets im Auge zu behalten, dass **Leonardo da Vincis** und **Stevins** Werke **Galilei** und seinen Zeitgenossen unbekannt geblieben waren.

Der am 15. Februar 1564 neuen Stils in Florenz geborene Knabe sollte nach dem Wunsch seines Vaters, eines unbemittelten florentinischen Edlen, Tuchmacher werden. Seine ungewöhnliche Begabung liess jedoch den väterlichen Entschluss dahin abändern, dass er 1581 nach Pisa geschickt wurde, um Medizin zu studieren. Hier gewann ihn der Unterricht des Mathematikers **Ricci**, dessen er durch einen günstigen Zufall teilhaftig wurde, den Naturwissenschaften. Er wandte sich nunmehr vor allem dem Studium des **Aristoteles** zu, konnte sich aber mit der Grundlage damaliger Wissenschaft je länger je weniger befreunden, und da er sich nicht scheute, seinen Zweifeln Worte zu geben, so betrachtete man ihn in Pisa durchaus nicht mit besonderm Wohlwollen. So kostete es dem Marchese **Ubaldo del Monte** viele Mühe, dem vielversprechenden jungen Gelehrten 1589 eine auch für damalige Zeit sehr mässig bezahlte Professur der Mathematik in Pisa zu verschaffen. Nach drei Jahren wurde er wiederum infolge **del Montes** Eingreifen an die Universität Padua berufen und die Republik Venedig, der

Padua gehörte, hatte diesen Schritt durchaus nicht zu bereuen. Des neuen Professors rasch wachsender und sich verbreitender Ruhm führte ihm eine Menge Zuhörer auch fürstlichen Standes zu, wenn es auch eine Sage ist, dass damals der nachherige Schwedenkönig **Gustav Adolf** bei **Galilei** gehört habe. Achtzehn Jahre blieb **Galilei** in dieser Stellung und es umfassen dieselben die Zeit seines frischesten und freudigsten Schaffens, die Zeit grösster Fülle von zuströmenden neuen Gedanken und Ideen, die er freilich zum grössten Teil erst später drucken liess.

Seine frühesten Arbeiten waren der Mechanik gewidmet. Der die Bewegungslehre umfassende Teil derselben, die Dynamik, ist seine Schöpfung. Aber seine Ableitungen klingen uns fremdartig, da er das Beharrungsprinzip noch nicht kannte und, obwohl seine Arbeiten mit Notwendigkeit zu ihm hinführten, nicht dazu gelangte, es auszusprechen. Anfangs nicht über **Benedetti** hinausgehend, nimmt auch er die gewaltsame und die natürliche Bewegung an. Aber sein Bestreben ist es von vornherein, den Unterschied zwischen beiden aufzuheben. Einem sich horizontal bewegenden Körper ist ein Antrieb mitgeteilt, der die Bewegung unveränderlich und gleichförmig erhält, wenn sie nicht ein äusseres Hindernis, das mit ihrem Wesen nichts zu thun hat, zum Stillstand bringt. Die vertikale Bewegung eines aufwärts geworfenen Körpers dagegen wird durch einen Antrieb bewirkt, der ihm anfänglich mitgeteilt worden ist und der bei seiner Bewegung fortwährend abnimmt, während die ihr widerstehende Schwere ihren Wert behält. Sind beide gleich, so tritt Stillstand ein. Bei der folgenden abwärts gerichteten Bewegung leistet der Antrieb, der ja

noch vorhanden ist, anfangs Widerstand, da er aber immer weiter abnimmt, so wird dieser Widerstand immer geringer, die Bewegung rascher. Die Bewegung infolge der Schwere allein würde eine natürliche sein. Die Hinzufügung des Antriebs von veränderlicher Stärke macht sie zur gewaltsamen und auf diese Weise führt **Galilei** die letztere auf die erstere zurück. Mit Hilfe dieser Annahme ist nun **Galilei** im stande, mittels einer graphischen Methode die Fallgesetze aufzustellen. Sind (Fig. 18) $CE = t$ und $CB = t_1$ zwei verschiedene Zeiten, während welcher ein Körper frei gefallen ist, und trägt man in $E$ und $B$ die dort vorhandenen Geschwindigkeiten $DE = v$ und $AB = v_1$ an, so dass

$CE:CB = DE:AB$ od. $t:t_1 = v:v_1$

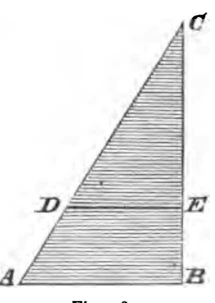


Fig. 18.

so werden die Punkte $A$, $D$ und $C$ auf einer geraden Linie liegen und die in allen Punkten von $CB$ errichteten, bis $AC$ verlängerten Senkrechten die Geschwindigkeiten liefern, welche zu den durch die Punkte gegebenen Zeiten stattfinden. Addiert man sie, so muss man die zurückgelegten Wege finden, diese Summen aber sind die Inhalte von Dreiecken, die man leicht berechnen kann. Es müssen sich demnach die zu den Zeiten $t$ und $t_1$ zurückgelegten Fallräume $s$ und $s_1$ verhalten, wie die Dreiecke $CDE$ und $CAB$, also

$$s : s_1 = \triangle\, CDE : \triangle\, CAB = \frac{CE.DE}{2} : \frac{CB.AB}{2} =$$

$$vt : vt_1 = t^2 : t^2_1.$$

Die Gesetze, welche **Galilei** aus diesen, von den unseren abweichenden Voraussetzungen erhielt, sind dieselben, die wir noch als richtig anerkennen. Dass sich **Galilei** dabei durch richtige Induktion leiten liess, geht aus den Beispielen, mit Hilfe deren er die Anhäufung der mitgeteilten Antriebe zu erklären suchte, hervor. Wie eine schwere Glocke durch immer erneute mässig starke Stösse in kräftige Schwingungen versetzt wird, wie ein Schiff durch sich immer erneuernden Winddruck und fortgesetzte Ruderschläge mit wachsender Geschwindigkeit das Wasser zerteilt, so wird die Bewegung des fallenden Körpers durch seine immer stärker werdende Schwere, da jene ursprünglich erteilten Antriebe immer schwächer werden, eine immer schnellere.

Auch darin befolgte **Galilei** die heute übliche Methode, dass er diese durch eine Hypothese gefundenen Gesetze durch den Versuch prüfte. Bei der zu grossen Geschwindigkeit fallender Körper war es aber nicht möglich, direkt zusammengehörige Zeiten und Fallräume zu beobachten, und so suchte der grosse Florentiner die Bewegung zu verlangsamen, indem er die Körper eine schiefe Ebene herunterrollen liess. Aber die Bewegung eines Körpers auf solcher Unterlage war keineswegs untersucht, auch hier musste sein Genie erst Rat schaffen. Er bedient sich zu dieser Untersuchung des Hebelgesetzes. Den einen Arm eines zweiarmigen Hebels denkt er sich in horizontaler Stellung gehalten, den andern aber immer mehr aus der Horizontalen geneigt. Waren gleichgrosse Gewichte an beiden Armen angebracht, so wird die Wirkung des am beweglichen Hebelarme befindlichen immer kleiner

und das nämliche muss stattfinden, wenn man an seiner Stelle den von seinem Endpunkt beschriebenen Kreis setzt, dessen Tangenten alsdann die verschieden geneigten schiefen Ebenen geben. Wenn nun diese Ableitung, welche zu dem noch gültigen Gesetz der schiefen Ebene führt, auch nicht ganz einwandfrei ist, so genügte sie **Galilei** doch, um seine Fallgesetze zu prüfen. Er bekleidete um einen bestimmten Winkel gegen den Horizont geneigte Rinnen, zur Verminderung der Reibung, mit Pergamentstreifen, über die er Bronzekugeln herabrollen liess. Als Zeitmesser benutzte er eine Wasseruhr und aus der Übereinstimmung seiner Versuche mit dem gefundenen Gesetz schloss er auf dessen Richtigkeit.

Nachdem **Galilei** so die gewaltsame Bewegung auf die natürliche zurückgeführt hatte, ging er dazu über, beide zusammenzusetzen. So musste sich die Bahn eines horizontal geworfenen Körpers konstruieren lassen, die man längst für eine halbe Parabel gehalten hatte. Die Konstruktion ergab in der That eine solche und **Galilei** konnte mit Recht den Ruhm für sich in Anspruch nehmen, die Richtigkeit der frühern Annahme erst wirklich bewiesen zu haben. Er beschränkte sich indessen nur auf die Konstruktion der halben Parabel, obwohl er wusste, dass bei einem Elevationswinkel von 45° die Wurfweite am grössten ist.

So kam er denn auch, wie **Stevin**, auf den Satz vom Parallelogramm der Kräfte und, wenn auch nicht in seinen allgemeinen Formen, auf das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten, aus dem er bereits die für alle Maschinen so wichtige Folgerung zog, dass ein

jeder Gewinn an Kraft einen Verlust an Geschwindigkeit mit sich bringt und umgekehrt.

Brachten diese Entdeckungen erst späteren Zeiten den ganzen Nutzen, der daraus zu ziehen war, so wurde diejenige des Isochronismus der Pendelschwingungen sehr bald von grosser Bedeutung. Sie ermöglichte ja die so lange ersehnte Herstellung ebenso bequemer, wie genauer Zeitmesser. Die zufällige Beobachtung der Schwingungen einer Kirchenlampe soll die Veranlassung zu der wichtigen Untersuchung gewesen sein, welche bewies, dass das Pendelgewicht ohne Einfluss auf seine Bewegungen ist, dass sich die Schwingungsdauern zweier verschieden langer Pendel, wie die Quadratwurzeln aus ihren Längen verhalten. Obwohl er auch hier die unhaltbare Voraussetzung machte, dass die die Schwingungen verursachende Kraft nur die Schwere des Pendelgewichtes sei, und das Beharrungsvermögen nicht in Betracht zog, so erkannte er das Wesen der Bewegung doch auf das genaueste, aber die Behauptung, dass man die Pendelgesetze auch auf einen Körper anwenden dürfe, der sich durch einen durch den Mittelpunkt der Erde gelegten Kanal bewegen könne, musste sehr modifiziert werden, als man fand, dass nicht die Schwere des Gewichtes, sondern die Anziehung der Erde, genauer die gegenseitige der Erde und des Gewichtes, als bewegende Kraft bei den Pendelschwingungen wie beim freien Fall auftritt.

Indem **Galilei** statt dieser Anziehung nur die Schwere des Gewichtes annahm, konnte er nicht die Erklärung der Kreisbewegung, die **Benedetti** gegeben hatte, anerkennen. Da er aber auch die Aristotelische Ansicht festhielt, dass

die Kreisbewegung als eine natürliche keiner weitern Erklärung bedürfe, mit **Coppernicus** die Rotation der Erde aber annahm, so kam er in die Lage, auf andere Art zu erklären, warum die Gegenstände an ihrer Oberfläche nicht weggeschleudert würden. Er that dies auf dialektischem Wege in einer Art, die der Scholastik alle Ehre gemacht haben würde. Da die Gegenstände ja in der Tangente wegfliegen müssten, man aber den Abstand der Tangente von der rotierenden Oberfläche beliebig klein machen könne, so müsse dies auch mit dem Abstande des wegfliegenden Körpers möglich sein. Mache man aber diesen gleich Null, so bleibe ja der Gegenstand an jener Oberfläche, ein Beweis, dessen Nichtigkeit jeder von der Schleuder fliegende Stein darthut. Ja, **Galilei** führt zur Erklärung der Kreisbewegung die natürliche Bewegung des **Aristoteles** wieder ein. Geradlinige Bewegung sei nur im Chaos möglich, sie konnte die Stoffe zum Bau des Weltganzen wohl herbeischaffen. War dieses aber vollendet, so können dieselben nur in Ruhe verharren oder eine Kreisbewegung mit gleichförmiger Geschwindigkeit ausführen, die nun für sie die natürliche ist. Nichts kennzeichnet so sehr die Übergangsstellung der Galileischen Forschung, wie dieses unvermittelte Nebeneinanderbestehen alter und neuer Ansichten, was nur dadurch möglich war, dass er noch nicht das Beharrungsvermögen der Körper und die Anziehungskraft der Erde klar erkannte.

Dieselbe Ursache liess unsern Forscher, allerdings ohne Erfolg, Versuche anstellen, um aus der örtlichen Abweichung von Körpern, die aus grossen Höhen herabfielen, die Umdrehung der Erde zu beweisen, liess ihn eine

Erklärung der Ebbe und Flut geben, die ganz unhaltbar ist. Wie ein in einem Wagen sitzender Mensch seinen Oberkörper rückwärts bewegt, wenn der Wagen plötzlich in Bewegung gesetzt wird, so sollte dies auch mit dem Meerwasser infolge der Umdrehung der Erde der Fall sein. **Stevin** hatte die Erscheinung bereits aus der Anziehung des Mondes, und eines ihm gegenüberliegenden, allerdings rätselhaften Punktes des Himmels zu erklären gesucht.

Auch bei seinen Arbeiten über die Konstitution und die Festigkeit der Körper kann sich **Galilei** noch nicht ganz von den Fesseln der Scholastik frei machen. Er nimmt an, dass die Körper aus Atomen bestehen, die durch leere Räume getrennt sind. Die Flüssigkeiten werden von kugelförmigen schweren Atomen gebildet und aus dieser Annahme erklärt sich sofort ihre leichte Beweglichkeit und die Fähigkeit, den Druck nach allen Seiten fortzupflanzen. Mit Hilfe einer geschickten Anwendung des Prinzips von den virtuellen Geschwindigkeiten leitet er dann aus dieser Voraussetzung die von **Archimedes** erhaltenen Sätze, namentlich das archimedische Prinzip, ab, und so soll ihm auch die Konstruktion einer ungleicharmigen Wage mit Laufgewicht für rasche und bequeme Bestimmung des spezifischen Gewichtes nicht vergessen sein.

Aus der Annahme der Atome sucht er weiter auch die Eigenschaften der festen Körper zu erklären. Er hatte über die Festigkeit mannigfache Versuche angestellt, wusste, dass hohle Stäbe dem Zerbrechen besser widerstehen, als massive, und versäumte nicht, dies auf die hohlen Knochen anzuwenden. Bei der Erklärung des Zerbrechens übersah er jedoch die dabei stattfindende Dehnung oder auch

Zusammendrückung, die Festigkeit selbst aber erklärte er nicht aus anziehenden Kräften, die zwischen den Atomen thätig sind, sondern aus dem Widerstande, den die Körper gegen den leeren Raum ausüben. Getreu seiner Methode weist er denselben in der durch Fig. 19 geschilderten Weise experimentell nach. Er stellt ein cylindrisches hohles Gefäss *ABCD* her, in das der hölzerne Kolben *EFGH* genau passt. Durch eine Durchbohrung in seiner Mitte ist der eiserne Haken *JK* gesteckt, so dass sein cylindrischer Teil bequem auf- und abbewegt werden kann. Sein kegelförmiger Kopf *J* aber passt in einen entsprechenden Hohlraum des Kolbens. Um den Versuch anzustellen, kehrt **Galilei** den Apparat um und füllt ihn, während *JK* gelockert wird, mit Wasser, drückt *J* an und bringt den Apparat wieder in seine ursprüngliche Lage. Alsdann füllt er in ein an *K* angehängtes Gefäss so lange Sand, bis sich *EF* vom Wasser trennt. Das Gewicht von *EF* mit Zubehör misst alsdann den Widerstand gegen den leeren Raum. Derselbe ist ziemlich bedeutend und so erklärt sich die Festigkeit der Körper leicht aus dem Widerstand gegen die grosse Menge leerer Räume, welche in ihrem Innern vorhanden sind. Hängt man nun einen Stab an einem Ende auf, so muss er sein eigenes Gewicht tragen. Nimmt man ihn aber so lang, dass dasselbe den Betrag seiner Festigkeit überschreitet, so bricht er ab. In der nämlichen Erscheinung ist der Grund zu suchen,

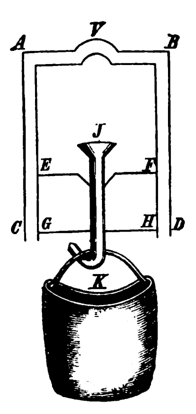


Fig. 19.

warum Wasser in einer Saugpumpe nur bis zu einer bestimmten Höhe gehoben werden kann. Das Heben bewirkt zunächst der Widerstand gegen den leeren Raum, hat aber die gehobene Wassersäule eine solche Länge erreicht, dass dieser Widerstand ihr Gewicht nicht mehr tragen kann, so reisst sie ab. **Galilei** wusste, dass die Luft schwer war, er hat ihr Gewicht, ja ihr spezifisches Gewicht zu bestimmen gesucht; doch hinderte ihn seine Annahme des Widerstandes gegen den leeren Raum, die von dem aristotelischen Abscheu vor demselben nicht allzusehr verschieden ist, zu der Erklärung der beschränkten Erhebungshöhe in der Saugpumpe zu gelangen, die sich kurz nach seinem Tode einem seiner Schüler mit Notwendigkeit aufdrängte.

Der Zeit, die **Galilei** in Padua verbrachte, gehören noch seine Versuche zur Ermittelung der Geschwindigkeit des Lichtes, die Erfindung des Thermometers und des Fernrohres an. Die erstgenannten Versuche konnten freilich zu keinem Ergebnis führen, da der gesuchte Wert seiner Grösse wegen mit irdischen Entfernungen nicht vergleichbar ist. Das Thermometer ist zuerst von dem Professor der Medizin in Padua **Santorio** (1561—1636) bekannt gemacht worden. Sein Erfinder hatte sich begnügt, in seinen Vorträgen das Instrument zu zeigen, indessen ist seine Priorität, auf die **Santorio** zudem nie Anspruch machte, über jeden Zweifel erhaben. Den im Museo di Galilei in Florenz noch vorhandenen Originalapparat des grossen Forschers zeigt Fig. 20. Ein Glasrohr mit angeblasener Kugel taucht mit dem untern, offnen Ende in das in einem Glasgefäss enthaltene Wasser. Gelindes Erwärmen hatte

die Luft aus der Kugel teilweise ausgetrieben und die Schwankungen des in das Rohr eingetretenen Wassers erlauben im allgemeinen das Steigen und Sinken der Temperatur zu beobachten. Mehr freilich nicht! Obgleich **Galilei** den Apparat mit der Absicht, Temperaturen zu messen, zwischen den Jahren 1592 und 97 angegeben hat, ist er doch in der ursprünglichen Form nicht als Thermometer, sondern nur als Thermoskop zu verwenden.

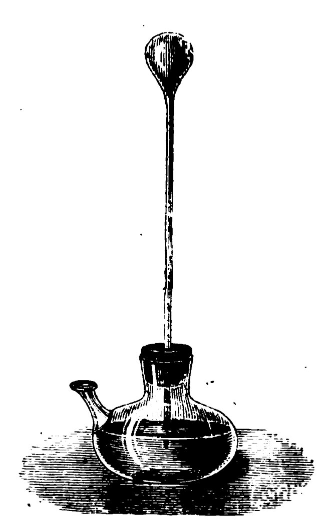


Fig. 20.

In eigentümliches Dunkel, welches sich wohl schwerlich noch wird aufhellen lassen, ist die Erfindungsgeschichte des Fernrohrs gehüllt. **Galilei** hörte im April oder Mai 1609 bei einer zufälligen Anwesenheit in Venedig, dass ein Holländer dem Prinzen **Moriz von Oranien** ein Augenglas gezeigt habe, welches ferne Gegenstände ebenso deutlich zeige, als wenn sie ganz nahe wären. Schon auf seiner Rückreise nach Padua überlegte er sich, wie dies möglich sei, und es gelang ihm, zu Hause angelangt, den Apparat nachzukonstruieren. Wer nun jener Holländer gewesen ist, hat sich nicht feststellen lassen, ebensowenig aber auch mit aller Sicherheit der Erfinder des Fernrohrs, obgleich noch zu Lebzeiten der nächsten Anverwandten der Beteiligten

gerichtliche Protokolle über den Gegenstand aufgenommen wurden, die wir noch besitzen. Völlig sicher ist nur, dass ein aus Wesel stammender, in Middelburg ansässiger Brillenschleifer, **Lippersheim**, den die Holländer **Lippershey** nennen, sich 1608 das holländische Fernrohr, bestehend aus einer Sammellinse als Objektiv und einer Zerstreuungslinse als Okular, von den Generalstaaten hat patentieren lassen. Die Priorität der Erfindung aber macht ihm eine andere Brillenschleiferfamilie streitig, die abwechselnd den Vornamen **Zacharias** und **Jan** mit dem jedesmaligen Beinamen **Janssen** (Jans Sohn) und **Zachariassen** führte, eine nähere Bestimmung der Person, wie sie auch jetzt in den Niederlanden noch üblich ist. Um 1590 soll nun ein **Zacharias Janssen** durch Zufall darauf gekommen sein, zwei Sammellinsen zum Mikroskop und eine Sammel- und eine Zerstreuungslinse zum holländischen Fernrohr zu vereinigen. **Lippershey** aber scheint zu derselben Zeit ebenfalls durch Zufall die Erfindung selbständig gemacht zu haben. Ein vor kurzem in Zeeland aufgetauchtes Mikroskop nebst Teilen von Fernrohren, die von **Janssen** herrühren sollen, sind viel zu wenig beglaubigt, als dass ihnen irgend welche Beweiskraft zukommen könnte. Ein tiefergehendes Interesse hat die Frage, welchem jener Handwerker der Zufall die so überaus wichtige Entdeckung in den Schoss warf, nicht.

Viel höher steht **Galileis** Thätigkeit bei der Wiederholung dieser Erfindung. Die Überlegung, die ihn dazu führte, ist in einer Streitschrift enthalten, die er gegen den Jesuitenpater **Grassi** richtete, von welchem er unter dem Pseudonym **Sarsi** angegriffen worden war. Als Probe Galileischer

Polemik mag sie hier in wörtlicher Übertragung Platz finden. „Das Kunstwerk besteht“, schreibt **Galilei,** „entweder aus einem Glase allein oder mehr als einem. Aus einem einzigen kann es nicht bestehen, weil dessen Gestalt konvex oder konkav oder von zwei parallelen Ebenen begrenzt ist. Letztere Gestalt ändert aber durchaus nicht die Objekte so, dass sie sie vergrössert oder verkleinert. Das konkave verkleinert dieselben wohl, während sie das konvexe zwar vergrössert, aber sie undeutlich und verschwommen erscheinen lässt. Folglich genügt ein einziges Glas nicht, die Wirkung hervorzubringen. Nun ging ich zu zweien über und da ich wusste, dass das Glas mit den parallelen Flächen nichts ändert, so schloss ich, dass die Wirkung auch nicht einmal aus der Verbindung desselben mit irgend einem der andern beiden folge. Jetzt beschränkte ich mich darauf, zu untersuchen, was die Verbindung der beiden anderen hervorbringt, und sah, dass diese mir das Gesuchte gab. Dies war der Fortgang meiner Erfindung, bei welcher mir die Gewissheit des schliesslichen Erfolges grosse Hilfe gewährte. Aber wenn Herr **Sarsi** und andere meinen, dass die grosse Hilfe der Gewissheit des schliesslichen Ergebnisses dazu angethan sei, dasselbe in der That zu verkleinern, so mögen sie die Geschichte lesen. Dort werden sie finden, dass von **Archytas** eine Taube hergestellt wurde, welche flog; von **Archimedes** ein Spiegel, der auf grosse Entfernungen zündete, und andere bewunderungswürdige Maschinen. Wenn sie über diese nachdenken, so werden sie mit geringer Mühe und zu ihrem grössten Ruhm und Vorteil die Konstruktion derselben finden. Oder aber, wenn ihnen dies nicht gelingen sollte,

so werden sie den andern darin bestehenden Vorteil davon haben, dass sie besser begreifen werden, wie die Leichtigkeit, die sie sich aus der Kenntnis des Zieles für dessen Erreichung versprechen, doch weit geringer ist, als sie glauben."

Diese Mitteilung lässt nichts an Deutlichkeit zu wünschen übrig. Betrachtet man an der Hand unserer Lehrbücher die Art, wie in den verschiedenen Fernrohren das Bild des Gegenstandes zu stande kommt, so wundert man sich, dass

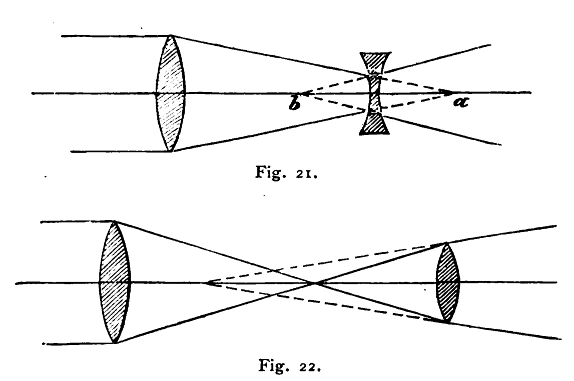



Fig. 21.

Fig. 22.

der grosse Forscher nicht auf das aus zwei Sammellinsen bestehende Fernrohr verfiel. Doch ergeben die in Fig. 21 und 22 dargestellten Wege der von einem entfernten Lichtpunkt ausgehenden Strahlen, die **Galilei** seiner Überlegung zu Grunde legte, dass doch die vergrössernde Wirkung der von **Galilei** gewählten Zusammenstellung leichter zu übersehen ist, als die zweier Sammellinsen. Die nach *a* konvergierenden Strahlen werden durch die Zerstreuungslinse divergent gemacht, gehen also, nach der Brechung in der

zweiten Linse, von einem Punkte *b* aus, der der Linse viel näher liegt, während die zweite Sammellinse vielmehr divergente Strahlen weniger divergent macht.

Es war ein Glücksfall, dass dieses Fernrohr aufrechte Bilder der Gegenstände zeigt. Wären sie umgekehrt gewesen, so hätte die Erfindung schwerlich den überwältigenden Eindruck hervorgerufen und vielleicht hätte der Senat der venetianischen Republik für das ihm bereits im August 1609 übersandte Fernrohr sich weniger erkenntlich gezeigt. So erhöhte er den Gehalt des glücklichen Erfinders um ein Bedeutendes und verlieh ihm sein Amt lebenslänglich.

Trotz dieser grossen Verbesserung und Sicherung seiner Lage war es Galileis Wunsch, in die Dienste der Mediceer zurückzutreten. Ihnen widmete er deshalb seine erste Entdeckung, die er im Januar 1610 mit dem neuen Instrumente machte. Es waren die Monde des Jupiter, denen er den Namen der Mediceischen Sterne gab. Als dann in demselben Jahr der Grossherzog **Cosimo II.** zur Regierung kam, dem er seit längerer Zeit während der akademischen Ferien in Florenz Unterricht erteilt hatte, wurde sein Wunsch erfüllt, indem er erster Mathematiker in Pisa und erster Philosoph des Grossherzogs wurde, ohne jede Verpflichtung Vorlesungen zu halten. In Venedig war man wohl im Recht, wenn man **Galilei** wegen seines Ausscheidens aus den Diensten der Republik des Undanks zieh, ihm selbst wurde die Übersiedelung in ein Gebiet, welches ein vom Papst ziemlich abhängiger Fürst beherrschte, das Verhängnis seines Lebens.

Zunächst freilich häufte er Entdeckungen auf Entdeckungen, mit seinem Fernrohr den Himmel durchforschend.

Am Ende des Jahres 1610 hatte er die Mondberge gefunden und sie als den Gebirgen der Erde ähnliche Bildungen erkannt, den Schimmer der Milchstrasse in Sterne zerlegt und die Zahl der im Orion und den Plejaden sichtbaren um hunderte von neuen vermehrt, die wechselnden Lichtphasen der Venus und des Mercur gesehen, hatte den Ring des Saturn als zwei neben dem Hauptplaneten befindliche Nachbarsterne beobachtet, hatte endlich die Sonnenflecken gefunden und aus ihnen auf die Umdrehung der Sonne um ihre Achse geschlossen. Die Entdeckungen an Venus und Saturn hatte er in Anagrammen mitgeteilt, das eine derselben haben wir kennen gelernt, das andere bemühte sich **Keppler**, der damals Hofastronom Kaiser **Rudolfs II.** war, vergeblich zu entziffern; auf diplomatischem Wege wurde **Galilei** zur Mitteilung seiner wahren Bedeutung an **Keppler** veranlasst.

So ungeheuer und berechtigt nun auch das Aufsehen war, welches seine in einer besondern, der „Sternenbote“ genannten Schrift veröffentlichten Entdeckungen hervorriefen, so liegt es auf der Hand, dass um sie zu machen nicht gerade ein **Galilei** nötig war. In der That sind ihm mehrere dieser Entdeckungen streitig gemacht worden. Die Sonnenflecken wollen vor ihm der Sohn des Predigers und Astronomen zu Osteel in Ostfriesland **David Fabricius Johann** (1564—1615), der Jesuitenpater **Scheiner** (1575—1650) und der englische Astronom **Harriot** (1560—1621) gesehen haben. Während **Galilei** sie den jetzigen Ansichten entsprechend für wolkenartige Gebilde hielt, glaubte sie **Fabricius** für Schlacken, **Scheiner** gar für kleine Weltkörper halten zu müssen, welche die Sonne umkreisten.

Die Entdeckung der Jupitermonde aber nahm der Hofastronom des Markgrafen von Brandenburg-Anspach **Marius** (Mayr, 1570—1624) für sich in Anspruch und verlangte die Beibehaltung des von ihm ihnen gegebenen Namens der Brandenburgischen Sterne. Inwieweit diese Ansprüche gegründet waren, ist nicht zu entscheiden. Jedenfalls lag in der Entdeckung der Thatsachen ein geringeres Verdienst, als in ihrer Deutung und Entwirrung und gerade dabei tritt **Galileis** Abstraktionsvermögen, sowie seine grosse Vorsicht in der Anwendung desselben in das hellste Licht.

Dass seine Entdeckungen ebensoviele Beweise für die Coppernicanische Weltanschauung waren, erkannten seine Gegner ebenso gut, wie er selbst. Aber er hütete sich wohl, dahingehende Folgerungen auszusprechen, und so blieb jenen nichts anderes übrig, als die Beobachtungen selbst zu leugnen. Diese suchte jedoch **Galilei** mit allen Mitteln zur Anerkennung zu bringen. Er reiste selbst nach Rom und konnte mit dem Erfolg seiner Reise und seiner Aufnahme an dem Sitz des Papstes nur zufrieden sein. Er wurde mit Ehren überhäuft und zum Mitglied der 1605 vom Fürsten **Cesi** gestifteten Accademia dei Lyncei (der Luchse), einer sich bald zu hohem Ruhm aufschwingenden wissenschaftlichen Gesellschaft, ernannt. Freilich erfuhr er nicht, dass damals zuerst sein Name auch in die Sitzungsprotokolle der heiligen Kongregation kam, als der Verbindung mit einem für einen Atheisten gehaltenen Paduaner Professor verdächtig. Um so wichtiger war es für ihn, dass er auch nicht aus seiner vorsichtigen Haltung heraustrat, als die Rufe immer lauter wurden, seine Entdeckungen, namentlich die der Jupiter-

**Grassi** antwortete unter dem bereits erwähnten Pseudonym **Sarsi**, und nun veröffentlichte **Galilei** die „Saggiatore“ betitelte Schrift, aus welcher wir eine Probe mitteilten. Er sandte sie dem Papst **Urban VIII.**, der eben den päpstlichen Stuhl bestiegen, **Galilei** aber als Kardinal grosses Wohlwollen bewiesen hatte. Die dem Papst gewidmete Schrift verteidigte zwar die Coppernicanische Lehre, behandelte sie aber nur als Hypothese und erregte so wenig Anstoss, dass er, als er kurze Zeit darauf wieder selbst nach Rom ging, mit Gunstbezeigungen überhäuft wurde. Dort sah er 1622 ein Mikroskop, welches ein Holländer nach Rom gebracht hatte. Da derselbe aber dort verstorben war, so wusste niemand mit dem Instrumente etwas anzufangen, bis es **Galilei** vorgelegt wurde, der es erklärte und seine Verwendung zeigte. Er verfertigte seitdem selbst Mikroskope, hat aber nie Anspruch auf die Erfindung dieses Apparates erhoben, wie später andere für ihn thaten.

Nunmehr glaubte **Galilei** die Veröffentlichung eines Werkes wagen zu dürfen, das in Gesprächsform unter dem Titel „Dialoge über die beiden Weltsysteme“ die Berechtigung der Ptolemaiischen und Coppernicanischen Ansicht gegen einander abwog, dabei die letztere der an ihn ergangenen Mahnung gemäss nur als Hypothese, die erstere als zu Recht bestehend behandelnd. Schwer war es, das Imprimatur zu erhalten, grössere Schwierigkeiten verursachte die Drucklegung, und als das Werk endlich erschienen war, wurde es in der Hand der Jesuiten, deren so lange behauptete Superiorität in den Wissenschaften dasselbe tief erschütterte, die Waffe gegen ihn, die ihn zu Grunde richtete. Sie wussten dem Papst die Überzeugung beizubringen, dass sich **Galilei**

darin über ihn lustig gemacht, dass er das Imprimatur in verwerflicher Weise sich erlistet hätte, und erreichten es, dass der 70jährige Greis vor den Richterstuhl der Inquisition nach Rom geladen wurde, wo er am 13. Februar 1633 von Krankheit und den Beschwerden der Reise in hohem Grade erschöpft anlangte. Anfangs geneigt, seine Meinung zu verteidigen, liess er sich von seinen Freunden zur unbedingten Unterwerfung bestimmen, ein Entschluss, der ihn in solchem Masse erregte, dass man für sein Leben fürchtete. Auf ein Schriftstück hin, das der Rechtskraft ermangelte, verurteilten ihn sieben von den zehn bestellten Richtern und nachdem ihm die Tortur angedroht, aber nicht angethan worden war, verstand er sich dazu, in grosser Versammlung in der Kirche seine Lehre, dass die Sonne das Zentrum der Welt, die Erde aber nicht im Zentrum der Welt sei und sich bewege, feierlich abzuschwören.

Es ist Legende, dass er in die Kerker der Inquisition geworfen worden sei, er ist vielmehr mit einer gewissen Schonung, die sein Zustand gebieterisch forderte, behandelt. Aber er hat auch nicht seine Abschwörung, sofort nachdem er sie ausgesprochen, widerrufen. Nicht seiner Person, nur seiner Lehre galt seine Verurteilung, und so wurde er denn auch, nachdem man erreicht, was man wollte, begnadigt. Frei gab man ihn freilich nicht, sein Landhaus in Arcetri bei Florenz wurde ihm als Aufenthalt angewiesen, und hier verbrachte er unter schweren körperlichen Leiden, seit 1637 am Staar für immer erblindet, die letzten Jahre seines Lebens, das am 8. Januar 1642 endete.

Kurz vor seiner Erblindung machte er noch die wichtige Entdeckung der Libration des Mondes, die Ursache wird, dass unser Trabant uns nicht immer genau die eine seiner Hälften zukehrt, sondern dass wir von der andern bald etwas mehr auf der einen und dann wieder auf der andern Seite sehen. Auch fasste er in diesen letzten Jahren seines Lebens die Ergebnisse seines Arbeitens und Denkens namentlich über mechanische Gegenstände in einem Werke, den „Discorsi e dimostrazioni matematiche", zusammen, die in Dialogform gehalten an Frische nicht hinter seinen früheren Werken zurückstehen.

Endlich gehört der Zeit nach seiner Erblindung noch eine seiner schönsten Erfindungen an, die Erfindung der Pendeluhr. Nach Entdeckung der Jupitermonde war der Philosoph des Grossherzogs von Toscana auf den Gedanken gekommen, die zur Längenbestimmung auf der See notwendigen genauen Zeitangaben mit Hilfe der Beobachtung der Jupitertrabanten zu erhalten, über deren Bewegungen zu diesem Zwecke genaue Tafeln berechnet werden mussten. Er war bereits 1612 in Verhandlungen über diesen Gegenstand mit dem spanischen Hof getreten, die sich jedoch bis 1630 hinschleppten und dann ohne Ergebnis abgebrochen wurden. 1635 kam derselbe Gegenstand zwischen ihm und den Generalstaaten der Niederlande zur Sprache, doch dachte er damals bereits daran, die notwendigen Zeitbestimmungen durch das Pendel zu erhalten. Dazu liess er den Körper eines solchen in einen federnden Stift auslaufen, welcher beim Hingang das freie Ende einer anderseits befestigten Borste über die schief aufsteigende Seite eines aus Carton geschnittenen Rades mit dreieckigen

Zähnen zog, so dass sie an der geradabfallenden herabglitt. Beim Rückgang schob dann der Stift mittels der Borste das Rad um einen Zahn zurück und dadurch den Zeiger eines Zählwerkes um einen Teilstrich vorwärts. Das Pendel musste durch wiederholtes Anstossen mit der Hand in Bewegung erhalten werden, so dass dieser Apparat noch keine Pendeluhr war. Die Verhandlungen mit der holländischen Regierung zogen sich aber infolge von Zufälligkeiten in die Länge und als dieselbe 1637, um sie wieder in Fluss zu bringen, dem blinden Gefangenen von Arcetri eine goldene Kette übersandte, wagte dieser nicht, ein solches Zeichen der Anerkennung als von einer protestantischen Macht kommend anzunehmen. Die Verhältnisse in den Niederlanden wurden bald derartige, dass die Unterhandlungen völlig einschliefen, obwohl die Tafeln der Jupitertrabanten durch den Pater **Renieri** (gest. 1648) berechnet fertig vorlagen.

Indessen gab **Galilei** seine Idee keineswegs auf. Seinem Sohne **Vincenzio** (1606—49) und seinem Schüler **Viviani** (1622—1703), den beiden einzigen, die in seinen letzten Lebensjahren um ihn sein durften, diktierte er die in Fig. 23 S. 112 wiedergegebene Zeichnung, die die erste Pendeluhr vorstellt. Die Achse des Pendels trägt zwei Dornen, welche mit ihm schwingen. In der abgebildeten Lage des Pendels hebt der obere Dorn den Sperrhaken aus den Zähnen eines Sperrades, während der untere unter einen der auf dem Kranze dieses Rädchens befestigten Stifte greift und es so verhindert, sich zu drehen. Das Gewicht, welches bestrebt ist, diese Drehung im Sinne des Uhrzeigers durch Vermittelung der beiden Zahnräder zu

bewirken, hängt an einem um die zu unterst gelegene Achse gewundenen Tau. Schwingt man das Pendel nach rechts, so gleitet, sobald es die senkrechte Lage erreicht

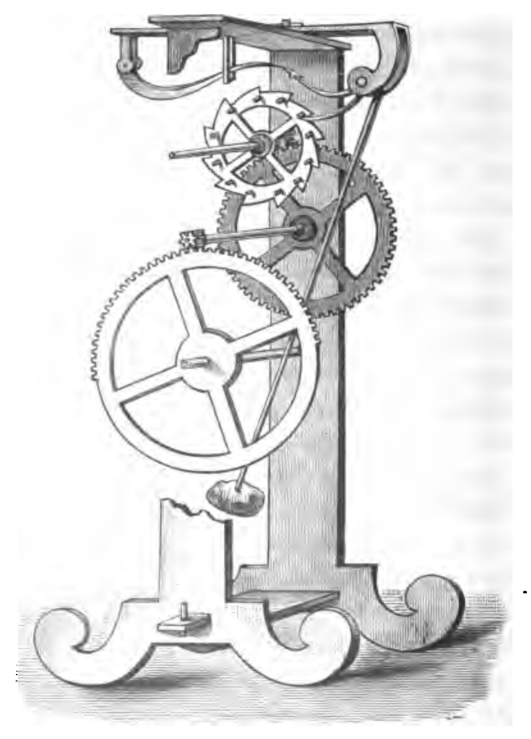


Fig. 23.

hat, der Stift von dem abgerundeten untern Dorn ab und erteilt so dem Pendel Stösse, welche dasselbe in dauernder Bewegung halten. Zugleich rückt das Sperrrad um einen

Zahn vor. Weiter aber kann es nicht kommen, da nunmehr der obere Dorn den Sperrhaken auf das Rad legt. Zurückschwingend hebt das Pendel den Haken wieder ab, das Rad geht wieder um einen Zahn vorwärts, aber nicht um mehr, da nunmehr der untere Dorn wieder hemmend vor einen Stift greift. So rückt das Rad bei jeder Pendelschwingung, also in genau gleichen Zeiträumen um einen Zahn vorwärts und es ist ein Leichtes, diese Bewegung auf ein Zeigerwerk zu übertragen.

Der Apparat bleibt so lange im Gange, als das an der untersten Achse hängende Gewicht schwebt. Dieses muss von Zeit zu Zeit aufgewunden werden und er ist mithin die erste wirkliche Pendeluhr. Daraus, dass diese Achse in der Zeichnung nicht mit einer Seiltrommel oder etwas ähnlichem versehen ist, dass vielmehr die Form des Gestelles dem das Gewicht tragenden Seil ein Hindernis entgegenzustellen scheint, ist kein Beweis gegen **Galileis** Absichten zu entnehmen. Denn einmal muss man bedenken, dass der blinde Meister die Zeichnung nicht hat auf ihre Richtigkeit prüfen können, und zum andern hat man neuerdings in Florenz nach derselben ein Modell hergestellt und sich von seiner Gangfähigkeit überzeugt. Die Ausführung des Entwurfes war zunächst durch **Galileis** Tod vereitelt. Doch hatte sie sich sein Sohn vorbehalten, nachdem er **Viviani** zur strengsten Geheimhaltung verpflichtet hatte. Erst 1649 kam **Vincenzio Galilei** dazu, die Ausführung des väterlichen Entwurfes ernstlich in die Hand zu nehmen. Er liess sich von einem Schlosser die einzelnen Teile anfertigen, setzte dieselben zusammen und hatte den Apparat so weit gebracht, dass er sich mit **Viviani** von

seiner Brauchbarkeit hatte überzeugen können, als ihn ein hitziges Fieber wegraffte. Die unvollendete Arbeit wurde in der Folge als altes Eisen verkauft, und da **Viviani** seine Verpflichtung der Geheimhaltung auch noch auf die 1654 von ihm verfasste Lebensbeschreibung seines Lehrers ausdehnte, so blieb **Galileis** letztes Werk zunächst völlig unbekannt, auf welchen Umstand wir zurückkommen werden.

Dass **Galilei** sich dazu verstand, die Lehre abzuschwören, die er aus innerster Überzeugung für wahr hielt, ist ein Makel, von dem sein Charakter nicht zu befreien ist, aber man darf ihn deshalb auch nicht falsch, nicht zu hart beurteilen. Die Veröffentlichung der Akten seines Prozesses hat ergeben, dass das Schriftstück, auf welches hin seine Verurteilung erfolgte, nie zu seiner Kenntnis gekommen ist. Die Weisung, die ihm der Kardinal **Bellarmin** auf seinen Wunsch mit eigenhändiger Namensunterschrift ausgestellt hatte, verlangte, dass die Coppernicanische Lehre, weil „der heiligen Schrift zuwider, weder verteidigt, noch festgehalten werden dürfe“, und dieser Vorschrift ist **Galilei** mit ängstlicher Sorgfalt nachgekommen. Das Aktenstück, auf welches hin er verurteilt wurde und welches weder eine Namensunterschrift, noch eine Beglaubigung trägt, also auch nicht rechtskräftig gewesen ist, behauptet dagegen, ihm sei aufgegeben gewesen, dass er jener Lehre „ganz und gar entsage und sie weder im übrigen in irgend einer Weise festhalte, noch lehre, noch verteidige in Wort und Schrift“. So blieben ihm die ihm im Verhör gemachten Vorwürfe völlig unverständlich und er beruft sich immer wieder darauf, dass er genau eingehalten habe, was ihm vorgeschrieben gewesen sei. Dazu kam der schwere

Konflikt in seinem Innern. Er war ein gläubiger Katholik und der Vorwurf des Ungehorsams gegen die Gebote der Kirche lastete schwer auf seinem Gewissen. Er hatte die tiefinnerliche Überzeugung, dass die Bibel Gottes Wort sei, aber er glaubte, dass, wenn die Bibel und die aus der Beobachtung der Natur entnommenen Zeugnisse in Widerstreit gerieten, daraus noch nicht folge, dass nicht beide von Gott stammten, vielmehr müsse man annehmen, dass Gott, wenn er aus der heiligen Schrift zu uns rede, sich der jeweiligen Auffassung der Menschen anbequemt habe. So setzte **Galilei** den Gehorsam gegen die Kirche über alles und ordnete ihm sogar seine Überzeugung unter. Und wie schwer musste ihm dies werden, da es ihm nicht unbekannt war — wir wissen dies aus einem Briefe, den er an den Anwalt beim Pariser Parlament **Elias Diodati** (1576—1661) richtete —, dass seine im Namen der Kirche auftretenden Gegner die Jesuiten waren, dieselben Jesuiten, die sich so gern als Träger des Fortschrittes in der Wissenschaft gebärdeten und nun doch alles daran setzten, in seiner Person die Wissenschaft selbst zu verurteilen. Hat **Galilei** gefehlt, so hat er auch hart genug gebüsst. Bei den so häufigen Ketzergerichten der damaligen Zeit sah man solche Vorgänge übrigens auch anders an, als wir es thun, und seine Abschwörung hat der Achtung, die die Mitlebenden für ihn hegten, keinen Eintrag gethan. Wie hätte ihn sonst sogleich nach seiner Verurteilung der Erzbischof von Siena **Piccolomini** als verehrten Gast empfangen und beherbergen, wie der Grossherzog von Toscana **Ferdinand II.** und der Dichter des „Verlorenen Paradieses“ **Milton** ihn in Arcetri besuchen, wie die niederländische Republik die

eingeleiteten Unterhandlungen in einer für den greisen Forscher so ehrenvollen Weise fortsetzen können!

Worin aber, müssen wir schliesslich noch fragen, beruht **Galileis** wissenschaftliche Grösse, um derentwillen man die moderne Naturwissenschaft von ihm datiert? Viele seiner Anschauungen haben die Scholastik nicht überwunden, die letzten Konsequenzen anderer haben erst seine Schüler erkannt, seine grossen Entdeckungen sind ihm zum Teil bestritten worden. So liegt denn sein Verdienst weniger darin, dass er die Wissenschaft bereicherte, als darin, wie er es that, in seiner Methode. Vor ihm hingen die Resultate der Forschung vom Zufall ab, man experimentierte weniger, sondern spekulierte mehr. Es konnte demnach von einer Wissenschaft, deren Ergebnisse mit zwingender Gewalt auftraten, vor **Galilei** noch nicht die Rede sein. Seine Forschungsweise aber war die induktive Methode, die wir heute ausschliesslich anwenden. Wir hatten bereits mehrfach Gelegenheit, ihr Wesen zu schildern. Indem sie von der Beobachtung und dem Experiment ausgeht, erschliesst sie die allgemeinen Gesetze und von diesen deduziert sie wiederum die speziellen Fälle. Nun ist es freilich richtig, dass man lange vor **Galilei** immer wieder die Anwendung dieser Methode gefordert hat, ihm aber ist es erst gelungen, sie wirklich zur Anwendung zu bringen. Ihm gebührt deshalb das Verdienst einer Neuerfindung derselben. Und gerade die unvollkommenen oder falschen Voraussetzungen, mit denen **Galilei** vielfach an ihre Benutzung ging, zeugen mit unwiderstehlicher Gewalt für sie. Trotz seiner vielfach unzureichenden, ja unrichtigen Ansichten führte dieselbe mit Notwendigkeit zu unumstösslichen

Resultaten, wie die Auffindung der Fallgesetze, des Gesetzes der schiefen Ebene u. s. w. beweist. Da mit Hilfe dieser Methode ferner jegliche Erkenntnis in den Naturwissenschaften erreicht werden kann, so hing von ihrer Einführung der stetige Fortschritt derselben ab und es ist bezeichnend, dass auch da, wo ihn nicht völlig überwundene Vorurteile hinderten, die letzten Konsequenzen seiner Arbeiten zu ziehen, dies seinen Nachfolgern mühelos gelang. Es würde unzweifelhaft ganz verkehrt sein, seinen Genius diesen inferioren Geistern unterzuordnen, selbst in den Einzelheiten, um die es sich hier nur handelt. Stellt demnach **Aristoteles** den Schlussstein eines Zeitraums erfolgreicher Arbeit dar, die er mit weitem Blicke systematisch zusammenfasst, so bildet **Galilei** den Grundstein einer Entwickelung der Naturwissenschaften, die weitaus bedeutendere Erfolge bereits aufzuweisen hat und die nach menschlicher Voraussicht zu einem Abschluss nie wieder gelangen wird.

So gross nun auch das Verdienst **Galileis** um die Schöpfung der modernen Naturwissenschaft ist, so gebührt ihm dasselbe doch nicht allein. Neben ihm ragt, als ebenbürtiger, wenn auch nicht so umfassender Geist, der um sieben Jahre jüngere **Johann Keppler** empor. 1571 zu Magstatt in Württemberg als Sohn des frühern Bürgermeisters von Weil geboren, war seine Jugend eine Kette von Entbehrungen und Krankheiten. Sein Vater war in seinen Vermögensverhältnissen zurückgekommen und dann in spanische, später österreichische Kriegsdienste getreten, aus denen er nicht zurückkehrte. Wegen seines schwächlichen Körpers wurde der jugendliche Johann zum Theologen bestimmt und 1586 in das protestantische Stift Maulbronn

als Freischüler aufgenommen. Hier war **Mästlin** (1550—1631) sein Lehrer, der ihn für die Mathematik und das Coppernicanische Weltsystem gewann. Nach kaum vollendetem Studium erhielt der junge Gelehrte eine Anstellung als Professor der Mathematik und Ethik in Graz und sein Geschick schien sich günstig gestalten zu wollen. Zwar erging 1598 das Edikt des spätern Kaisers **Ferdinand II.**, welches die Protestanten aus den österreichischen Erblanden auswies, aber die Jesuiten, welche seine mathematischen Kenntnisse zu benutzen wünschten, bewirkten für ihn die Erlaubnis, bleiben zu können, und so verliess er Graz erst mit der Wende des Jahrhunderts, um als Gehilfe des Hofastronomen Kaiser **Rudolfs II.**, **Tycho Brahe**, nach Prag zu gehen.

Der Tod **Tychos** löste schon im folgenden Jahre ein Verhältnis, welches sich nicht erfreulich gestaltet hatte. An **Tychos** Stelle zum Hofastronomen ernannt, bekam **Keppler** dessen grosses Beobachtungsmaterial zu seiner Verfügung; bis zu **Rudolfs** Tode im Jahre 1612 hielt er bei seinem kaiserlichen Herrn aus, denselben in dem Unglück, das ihn betraf, tröstend und stützend. Dann nahm er eine Professur am Gymnasium in Linz an, die er 1626 niederlegte, um in Nürnberg den Druck der von ihm berechneten Rudolfinischen Tafeln zu überwachen. Mit seinen Forderungen vom Kaiser an **Wallenstein** gewiesen, begab er sich 1628 zu diesem nach Sagan, konnte aber von dem grossen Feldherrn, dem es mehr um Astrologie, als um Astronomie zu thun war, die Auszahlung seiner Forderungen nicht erreichen. Er eilte nun 1630 zu dem Reichstag nach Regensburg, um dieselben

dort geltend zu machen. Wohl infolge der übermässigen Anstrengungen der Reise, die er zu Pferde gemacht hatte, ergriff ihn dort ein heftiges Fieber, was seinen Tod herbeiführte.

**Keppler** hat viel Leid und Ungemach zu erdulden gehabt. Er erlebte den Schmerz, die meisten seiner aus zwei Ehen stammenden Kinder vor sich sterben zu sehen, seine Mutter konnte er nur mit Mühe vor ihrer Verurteilung als Hexe schützen, in Linz wurde er von dem lutherischen Geistlichen exkommuniziert, weil er die Annahme der Konkordienformel verweigerte. Mit seinem Gehalt blieb er immer im Rückstande, aber wenn er auch nicht im Überflusse lebte, so ist er nach Ausweis des Inventars seines Nachlasses keineswegs, wie ein allgemein bekanntes, mehr witziges, als wahres Epigramm **Kästners** behauptet, in Hungersnot gestorben. Er hatte vielmehr vor so vielen seiner Zeitgenossen, die in der gleichen Verdammnis des fürchterlichsten aller Kriege, welche die Geschichte kennt, lebten, einen heitern Sinn voraus, und die begeisterte Stimmung, in der ihn die Ergebnisse seiner Forschung erhielten, war sein zugewogenes Glück.

Ein wunderbares Gemisch von Fantasie und strengster Arbeit auf rechnerischer Grundlage bezeichnet **Kepplers** Schaffen. Indem er die Harmonie der Sphären des **Pythagoras** aus den Abständen der Planeten von der Sonne zu erhalten suchte, kam er auf eine schöne, wenn auch bedeutungslose Übereinstimmung der mit ihnen als Radien beschriebenen Kugeln und der fünf regelmässigen Polyeder. Im Besitz von **Tychos** Beobachtungen untersuchte er zunächst die Bahn des Planeten Mars, welcher

die meisten Abweichungen von den von **Coppernicus** angenommenen Kreisbahnen zeigte. Mit Hilfe trigonometrischer Bestimmungen fand er so im Jahre 1609 die beiden ersten der nach ihm benannten Gesetze, wonach die Planetenbahnen Ellipsen sind, und ihre Radien vektoren, das sind die Verbindungslinien der im einen Brennpunkte der Ellipse befindlichen Sonne mit Punkten der Bahn, beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Räume. Auf solche Weise waren aber die Geschwindigkeiten dieser Bewegungen nicht in Harmonie gebracht. Diese auch zu finden, liess er sich keine Mühe verdriessen und nach zehnjähriger Arbeit gelang es ihm, dieselbe in seinem dritten Gesetz dahin auszusprechen, dass sich die zweiten Potenzen der Umlaufszeiten zweier Planeten, wie die dritten Potenzen der grossen Achsen ihrer Bahnen verhalten, ein Gesetz, welches sofort auf das der Gravitation führen musste, wenn man dieselbe als im Raume wirkend ansah. Obgleich nun **Keppler** bereits eine gegenseitige Anziehung der Himmelskörper und ihrer Teile annahm, nicht nur wie **Galilei** eine Schwere der letzteren, so hinderte ihn doch seine vorgefasste Meinung, die Anziehung als eine magnetische anzusehen, die hervorgerufen durch eine Art von der Sonne in ihrer Äquatorebene ausgestreckter Fühlfäden nur in dieser Ebene vor sich gehe, dasselbe zu erkennen. Obwohl ihn ferner seine Gesetze auf den Einfluss, welchen die Sonne auf die Erzeugung der Flutwelle nehmen müsse, hinweisen, obwohl er der genauen Fassung des Beharrungsvermögens nahe genug kam, wenn er fragte, warum Gott der Erde nicht von Anfang an eine solche Einprägung gegeben habe, die alle ihre Rotationen in fortdauernd beharrender Kraft

hervorriefe, so stand doch die Annahme mannigfacher körperlicher und seelischer Kräfte, mit denen er nicht kargt, der weitern Verfolgung jener sachgemässern Idee im Wege.

Neben diesen zeitraubenden Untersuchungen beschäftigte sich **Keppler** seit 1602 mit nicht minder schwierigen über die Brechung des Lichtes, durch welche er die Fernrohre zu verbessern hoffte. Es gelang ihm, das Brechungsgesetz des **Ptolemaios** durch ein anderes zu ersetzen, welches die empirischen Thatsachen besser, wenn auch noch nicht vollkommen genau wiedergab. Er zerlegte den Einfallswinkel in zwei Teile, von denen er den einen dem Brechungswinkel selbst, den andern seiner Secante proportional setzte, und indem er die weitere Annahme machte, dass von einem leuchtenden Punkte nach allen Seiten hin Strahlen ausgehen, auf eine Linse also ein Lichtkegel auffalle, kam er zu einer brauchbaren Bestimmung der Brennweite einer gegebenen Linse. Dabei fand er die sphärische Aberration dieser Hauptbestandteile der wichtigsten optischen Instrumente, die darin ihren Grund hat, dass der Vereinigungspunkt der Randstrahlen ihrem Mittelpunkt näher liegt, als der der zentralen. Zugleich gelangte er zu der Konstruktion mehrerer neuer Fernrohre, von denen das 1611 von ihm bekanntgegebene, nach Anweisung von Fig. 22 aus zwei Sammellinsen bestehende astronomische Fernrohr bald in der beobachtenden Astronomie das holländische verdrängte. Zwar zeigt es die Gegenstände umgekehrt, aber das ist bei der Betrachtung von Himmelskörpern gleichgültig. Dafür gestattet es die Verwendung eines grössern Gesichtsfeldes, und da das Objektiv ein wirkliches kleines Bild des Gegenstandes entwirft, welches das

als Lupe dienende Okular betrachten lässt, so ist es möglich, hier einen Faden oder eine zum Messen geeignete Vorrichtung anzubringen und dadurch mit viel grösserer Genauigkeit zu beobachten, als mit dem holländischen. Auch auf die Entstehung der Bilder im Auge dehnte **Keppler** seine Untersuchungen aus. Er kam zu denselben Ergebnissen wie **Maurolykus**, die er nur dahin präzisierte, dass die von einem Punkte ausgehenden Strahlen durch die Linse im normalen Auge auf der Netzhaut vereinigt würden, im kurzsichtigen vor, im fernsichtigen hinter derselben. Hinsichtlich der Stärke der Beleuchtung endlich fand **Keppler**, dass dieselbe mit der Grösse der beleuchteten Fläche abnehme.

Die Leistungen **Kepplers** stehen der Zahl, nicht der Art nach hinter denen **Galileis** zurück. Seine Methode war dieselbe; aber er hat sie insofern unter grösseren Schwierigkeiten handhaben müssen, als die von ihm gefundenen Gesetze erst nach Durchführung einer grossen Menge der beschwerlichsten Rechnungen abstrahiert werden konnten.

Die so lange gesuchte Beziehung zwischen dem Brechungs- und Einfallswinkel des Lichtstrahles fand etwa in derselben Zeit, in der **Keppler** seine Untersuchungen anstellte, der allzu jung verstorbene Leidener Professor **Snell van Royen** (**Snellius**, 1591—1626), der es zuerst dahin aussprach, dass, wenn man die in einer Ebene mit dem Einfallslot $L$ liegenden Strahlen vor und nach der Brechung bis zu einer in derselben Ebene gezogenen dem Einfallslot Parallelen $E$ verlängert (Fig. 24), die zwischen $E$ und $L$ liegenden Strecken der Strahlen $ab$ und $ac$ ein bestimmtes Verhältnis haben. Weiter kommt ihm das

Verdienst zu, zuerst die Aufgabe der angewandten Geometrie, die gewöhnlich fälschlich nach dem Franzosen **Pothenot** (gest. 1732) genannt wird, aufgestellt und gelöst zu haben, sowie das weitere, dass er mit einigen seiner Schüler in der neuern Zeit die erste Gradmessung, mit Hilfe von Basisbestimmung und Winkelmessungen, ausführte und für den Erdumfang die Zahl 38 660 364 *m* fand. Er wiederholte sie später, als die Umgegend Leidens überschwemmt und das Wasser dann gefroren war. Den daraus sich ergebenden Wert für den Erdumfang, der zu dem heut angenommenen noch besser stimmt, als der angegebene, hat er aber nicht mehr selbst berechnen können.

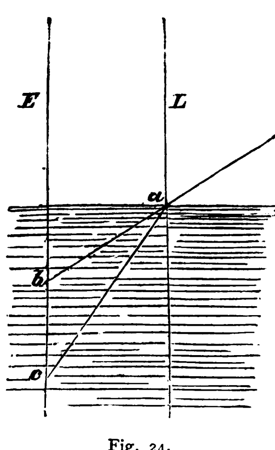


Fig. 24.

## Galileis Nachfolger.

**Galilei** hatte das ganze Gebiet der Naturwissenschaften beherrscht. Nach allen Richtungen vordringend hatte er die Bahnen, die die Forschung einzuschlagen hatte, geebnet, nicht immer hatte er sie bis zu ihrem Abschluss verfolgt, aber er hatte es denen, die nach ihm kamen, leicht gemacht, weiter vorzudringen. Trotzdem fand sich unter ihnen zunächst keiner, der im stande gewesen wäre, die Fülle von Aufgaben zu beherrschen, wie der heimgegangene

Meister, und so sehen wir den einen Teil seiner Nachfolger, **Baliani, Gassendi, Cavalieri, Cartesius,** seine theoretischen Ansichten über Schwere, Trägheit, die mechanischen Probleme u. s. w., den anderen, die Mitglieder der **Accademia del Cimento** und **Otto von Guericke,** seine Experimentaluntersuchungen weiterführen. Eine mittlere Stellung aber nimmt **Torricelli** ein, der der genannten Akademie ganz sicher angehört haben würde, hätte er ihre Gründung erlebt.

Bereits 1638 hatte der angesehene Genueser **Baliani** (1583—1666) die Eigenschaft der Trägheit als eine allen Körpern zukommende aufgefasst. Ruhe und Bewegung beharren nach seiner Ansicht. Der Versuch, die Fallgesetze aus diesem Prinzip herzuleiten, misslang freilich; **Baliani** kam vielmehr zu dem Ergebnis, dass die von **Galilei** gefundenen Regeln nur annähernd gültig seien, der Vorwurf aber, er habe die Fallräume den ersten und nicht den zweiten Potenzen der Fallzeiten gleichgesetzt, kann ihm nicht gemacht werden. Dagegen trifft ihn der andere um so schwerer, dass er fast ausschliesslich mit **Galilei**schen Gedanken operiert, sie aber nie als solche kennzeichnet. Der erste, der aus der Annahme des Beharrungsgesetzes und der Anziehungskraft der Erde jene wichtigen Gesetze ableitete, war **Gassendi.** Glaubte derselbe auch noch 1640 eine an **Aristoteles** erinnernde antreibende Rolle der Luft zuschreiben zu müssen, so gelangte er vier Jahre später dahin, von einer solchen als entbehrlich absehen zu können.

Indem **Galileis** Schüler **Cavalieri** (1598—1647) und **Torricelli** (1608—1647) des Meisters Wurflehre auch auf einen beliebig nach oben geschleuderten Körper

anwendeten, die von diesem als Bahn des geworfenen Körpers gefundene Halbparabel durch eine ganze Parabel ersetzten, wendeten auch sie das Trägheitsprinzip als ein allgemein gültiges an, ohne sich freilich dieser Konsequenz bewusst zu werden. Namentlich ist **Torricellis** Konstruktion der Bahn eines geworfenen Körpers bis auf den heutigen Tag festgehalten, ebenso, wie die Ergebnisse seiner Arbeiten über den Ausfluss des Wassers aus Gefässen, auf die ihn jene Untersuchungen führten.

Unabhängig von diesen Forschern, aber wohl nicht unabhängig von **Galilei** kam auch **René Descartes (Cartesius)** auf die allgemeinere Form des Trägheitsprinzips. Geboren 1596 zu La Haye in der Touraine, hatte er 1617 Kriegsdienste genommen, lebte von 1622 als Privatmann auf Reisen zumeist in Holland und folgte 1649 einem Rufe der Königin **Christine** von Schweden nach Stockholm, wo er aber bereits 1650 starb. **Cartesius** ist sehr verschieden beurteilt worden. Von den Zeitgenossen angefeindet, hat ihn die Nachwelt bald mit den Augen jener betrachtet, bald übertriebene Gerechtigkeit üben zu müssen geglaubt. Man beschuldigt ihn namentlich des Plagiats an anderen Forschern und in der That hat **Cartesius** in seinen Werken stets die Arbeiten anderer benutzt, ohne deren Urheber zu nennen. Da er sich nun, was freilich in keiner Weise zu rechtfertigen ist, über andere Forscher, **Galilei** nicht ausgenommen, hochfahrend und absprechend äusserte, so glaubte man, dass er die mitgeteilten Errungenschaften jener für sich in Anspruch nähme. Indessen liegt die Sache in Wirklichkeit doch wohl anders. In erster Linie Philosoph, ordnete

**Cartesius** im Gegensatz zu **Galilei** seinen Stoff der Methode seiner Darstellung unter und indem er denselben zu einem System zusammenfasste, lag es ausser dem Bereich seiner Werke, mitzuteilen, woher er den Stoff dazu entnommen. Die Wissenschaft verdankt ihm aber soviel, dass eine gerechte Beurteilung noch sehr zu seinen Gunsten ausfällt, wenn man auch die in seinen Werken mitgeteilten Leistungen anderer ausscheidet.

Im Jahre 1633 war er im Begriff, eine Schrift zu veröffentlichen, in welcher er die Gestaltung der Welt aus dem Beharrungsgesetz ableitete, unterdrückte dieselbe aber, als er von **Galileis** Verurteilung hörte, weil er die Bewegung der Erde darin angenommen hatte. Erst in seinem 1644 gedruckten Hauptwerke, den Principiis philosophiae, wagte er damit an die Öffentlichkeit zu treten. Dass er die Anregung zu dieser Ableitung von einem Freunde erhalten habe, sagt er selbst. Stammte sie aber nicht von ihm, so wäre ein anderer wie **Galilei** schwerlich im stande gewesen sie zu liefern, und sie wird auf diesen zurückgeführt werden müssen.

Eingehender hat sich **Cartesius** mit der Corpusculartheorie beschäftigt, wozu er die Anregung wohl in den Jahren 1625—28 in Paris erhielt. Er nahm drei Materien an, die erste oder das Feuerelement, die zweite oder das Himmelselement und die dritte oder das Erdelement. Alle drei entstehen aus kleinen Teilchen, die in fortwährender Bewegung begriffen ihre Ecken und Kanten abschleifen. Die zurückbleibenden kugelförmigen Teilchen werden zum zweiten, die abgeschliffenen Stückchen derselben zum ersten Element, die in rascher Wirbelbewegung die Zwischenräume zwischen jenen ausfüllen. Bei dem

Abschleifungsprozess aber entstanden auch schraubenförmige Gebilde, welche sich zu grösseren Stücken zusammenballend die Entstehungsursache des dritten Elementes werden. Auf solche Weise wird es begreiflich, wie gesonderte Teilchen einen Raum stetig ausfüllen können, wenn sie in Bewegung begriffen sind. So phantastisch die Annahmen des **Cartesius** erscheinen, so gaben sie ihm doch zwölf Jahre vor **Torricellis** Konstruktion des Barometers richtige Ideen über das Vorhandensein und das Wesen des Luftdrucks, aus dem er sowohl die beschränkte Steighöhe des Wassers in der Saugpumpe, als auch die Beobachtung, dass in einem engen, oben geschlossenen Glasrohr befindliches Quecksilber nicht aus demselben herausfiel, erklärte. Dass er trotzdem nicht auf die Konstruktion des Barometers kam, erklärt sich daraus, dass er sich lieber mit philosophischen und mathematischen Arbeiten beschäftigte, als experimentierte. Anderseits aber glaubte er auch die Schwere aus der Wirbelbewegung seines ersten Elementes erklären zu können und musste dann folgerichtig schliessen, dass sie durch den leeren Raum nicht wirke.

Das Licht hielt **Cartesius**, wie **Gassendi**, für kleine unelastische Teilchen, die der leuchtende Körper fortwährend von sich fortschleudere. Auf andere Körper prallend, würden sie zurückgeworfen oder drängen, ihre Richtung verändernd, ein. Dabei sprach er zum ersten Male das von **Snell** gefundene Gesetz, das den Zusammenhang zwischen Einfalls- und Brechungswinkel giebt, in der Form aus, in der es auch heute noch immer gefasst wird. Dass er **Snells** Fassung des Gesetzes gekannt habe,

versichern uns **Huygens** und **Vossius**; aus ihren Mitteilungen ergiebt sich aber nicht, dass er es bereits kannte, als er das Gesetz in seiner Fassung konzipierte, und so ist es möglich, wenn auch nicht gerade wahrscheinlich, dass er dasselbe selbständig gefunden hat. Die Theorie des Regenbogens ergänzte er durch den Nachweis, dass in der Richtung, in welcher er dem Auge erscheint, das auf die Wolke fallende Licht in stärkerem Masse reflektiert wird, als in jeder andern, und in ähnlicher Weise erklärte er die Ringe um Sonne und Mond aus der Reflexion des Lichtes dieser Himmelskörper an Eisnadeln, welche in der Luft schwebten.

Die weitere Folgerung, die er aus seiner Lichttheorie gezogen hatte, dass die Lichtbewegung im dichteren Mittel mit grösserer Geschwindigkeit vor sich gehe, griff indessen der Toulouser Parlamentsrat **Fermat** (1608—65) an und zeigte anfangs gegen **Cartesius**, später gegen dessen Schüler **Clerselier** (1614—86), dass sich auch die entgegengesetzte Annahme mit dem Brechungsgesetz in Einklang bringen lasse. Bei dieser Gelegenheit erweiterte **Fermat** den von **Ptolemaios** nur für die Reflexion aufgestellten Satz dahin, dass das Licht unter allen Umständen den kürzesten Weg zwischen zwei Punkten einschlägt. Aber auch die Galileischen Fallgesetze fanden an **Fermat** einen Verteidiger gegen **Cartesius**, welcher letztere sich von ihrer Richtigkeit nicht überzeugen konnte, da die Schwere seiner Ansicht nach nicht durch den leeren Raum wirke, in dem allein jene Gesetze genaue Gültigkeit hätten. Dabei erklärte **Fermat** zum ersten Male die Schwere für eine anziehende Kraft, mit welcher

die ihr unterliegenden Gegenstände und der Erdkörper sich gegenseitig anziehen, und schloss daraus, dass die Schwere im Erdinnern abnehmen müsse, weil sie dort zumteil nach oben gerichtet sei. 1644 erweiterte dann der Pariser Professor **de Roberval** (1602—75) **Fermats** Ansicht dahin, dass er die Schwere als eine den einzelnen kleinsten Teilchen der sich anziehenden Körper innewohnende Kraft ansah. Erwähnt sei hier endlich noch der Streit zwischen **Fermat** und **Cartesius** auf mathematischem Gebiete, welchem der letztere die analytische Geometrie hinzugefügt hat, über ihre Methoden zur Bestimmung grösster und kleinster Werte von veränderlichen Grössen, die solche besitzen.

Wenden wir uns der Fortführung des experimentellen Teiles von **Galileis** Arbeiten zu, so tritt uns zuerst die Entdeckung des Luftdruckes durch **Torricelli** entgegen, die sowohl den Aristotelischen Abscheu vor dem leeren Raum, als den Galileischen Widerstand der Körper gegen denselben für immer aus der Wissenschaft verbannte. **Torricelli** hatte dazu weiter nichts nötig als aus der von **Galilei** erwiesenen Thatsache, dass die Luft schwer sei, die Konsequenzen zu ziehen. Bestand diese zu Recht, dann musste die Luft ja das in der Saugpumpe gehobene Wasser, über dem sich ein luftleerer Raum befindet, tragen, und da Quecksilber 13 1/2mal schwerer ist, als Wasser, so war die Richtigkeit dieser Ansicht leicht zu prüfen, wenn man ein genügend (etwa 80 *cm*) langes, oben geschlossenes Glasrohr mit Quecksilber füllte, es mit dem Finger verschloss, umkehrte und den Finger wegzog, nachdem das von ihm zugehaltene Röhrenende unter Quecksilber getaucht worden war. Dann

musste das Quecksilber so weit herabsinken, dass das Gewicht der in der Röhre bleibenden Säule so gross wurde, wie dasjenige der in der Saugpumpe gehobenen Wassersäule von gleichem Querschnitt. Mehr Mathematiker, als Experimentator, teilte **Torricelli** seine Idee seinem Freunde **Viviani** mit und dieser überraschte ihn am folgenden Tage mit der Vorführung des wohlgelungenen Versuches, mit dem ersten Barometer. Damit war der Luftdruck experimentell bewiesen und zugleich in der Barometerkammer oder der Torricellischen Leere zum ersten Male ein wirklich luftleerer Raum hergestellt. Der 1643 gemachte Versuch setzte die gesamte wissenschaftliche Welt in freudiges Erstaunen, mit Ausnahme von **Cartesius**, den er nicht überraschen konnte.

**Torricelli** hatte seinen Versuch dem Pater **Mersenne** zu Paris (1588—1648) mitgeteilt und dieser, der mit vielen Gelehrten im Briefwechsel stand, hatte für sein Bekanntwerden gesorgt. Durch einen Freund des **Cartesius**, den Geheimen Rat Ludwigs XIII. **Petit** (1598—1667), war sie zur Kenntnis **Pascals** (1623—62) gekommen, der ohne öffentliches Amt damals in Paris lebte. Obwohl er im Anfang nicht einverstanden war, wurde er schwankend, als ihn wahrscheinlich **Cartesius** auf einen Versuch aufmerksam machte, mit dessen Hilfe man über die Richtigkeit der Ansicht **Torricellis** müsste entscheiden können. Aus derselben folgte ja, dass das Barometer auf dem Gipfel eines hohen Berges einen niedrigeren Stand zeigen müsste, als an tiefer gelegenen Punkten. **Pascals** Schwager **Périer** unternahm 1648 diese Prüfung durch gleichzeitige Beobachtungen des Barometerstandes auf dem etwa 900 *m*

hohen Puy-de-Dôme und in dem an seinem Fusse liegenden Clermont, und in der That stand das Quecksilber des Instrumentes auf dem Berge um mehrere Linien tiefer als unten. Denselben Versuch beabsichtigte später **Otto von Guericke** auf dem Brocken zu machen. Aber der Diener, der das Barometer trug, stolperte und zerbrach es und so musste der eifrige Forscher unverrichteter Sache in seinen Wohnort Magdeburg zurückkehren.

Die eigentlichen Erben der experimentierenden Seite von **Galileis** Thätigkeit waren aber die Mitglieder der **Accademia del Cimento,** der Akademie für experimentelle Untersuchungen. Dieselben, meist Schüler **Galileis,** waren 1657 auf Veranlassung des Prinzen **Leopold von Medici** (1617—75), des Bruders des Grossherzogs **Ferdinand II. von Toscana** (1610—70), zu dem Zwecke zusammengetreten, die von **Galilei** begonnenen Versuche fortzuführen. Ausser **Viviani** gehörten dazu **Borelli** (1608—79), **Magalotti** (1637—1712), **Renaldini** (1615—98) u. a. Die Akademie bestand bis zum Jahre 1667, wo Prinz **Leopold** den Kardinalshut erhielt. Man findet vielfach angegeben, dass der Preis für denselben die Auflösung der Akademie gewesen sei, indessen dürfte das nicht richtig sein. Bei den mannigfachen Streitigkeiten unter ihren Mitgliedern musste sie vielmehr sich auflösen, sobald sie in ihrem Stifter das sie noch zusammenhaltende Band verlor, und dieser hätte, wenn wirklich jener unwürdige Handel ins Werk gesetzt worden wäre, doch unmöglich fortfahren können, der Kirche missliebigen Gelehrten nach seiner Erhebung zum Kardinal so wirksamen Schutz angedeihen zu lassen, dass er unter andern den Jesuiten **Fabri**

(1606—88), der, wenn auch bedingt, für die Lehre des **Coppernicus** eingetreten war, auch die blaue Farbe des Himmels aus der Reflexion von Körperteilchen, die in der Luft schwebten, abgeleitet hatte, aus den Kerkern der Inquisition befreite.

Dass sie im Geiste des Meisters fortwirke, bewies die Akademie insbesondere dadurch, dass sie vor allem andern genaue Messinstrumente herzustellen versuchte. Namentlich hat sie das Thermoskop **Galileis** durch ihre Arbeiten

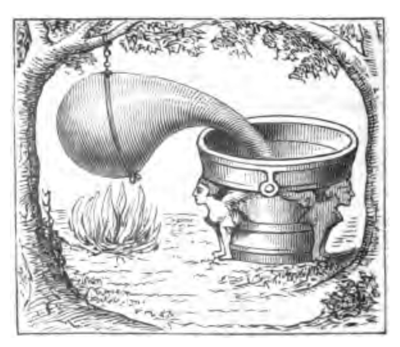


Fig. 25.

erst zum Thermometer gemacht und die Rücksichtnahme auf diese Arbeiten hätte vor dem Irrtum bewahren müssen, in den man zwanzig Jahre nach der Auflösung der Akademie verfiel, die Erfindung dieses wichtigen Messinstrumentes sei dem Holländer **Drebbel** (1572—1634), oder gar dem Engländer **Fludd** (1574—1637) zu verdanken. Bestand doch der Apparat, den der erstere 1604, der letztere 1617 zuerst veröffentlichte, wie Fig. 25 zeigt, aus einer mit Luft gefüllten Retorte, deren Hals

in ein Gefäss mit Wasser tauchte, so dass der Spiegel desselben mit wechselndem Luftdruck und wechselnder Temperatur sich hob und senkte, und beide Männer wollten auch, wie bereits **Heron** und **della Porta**, die Ausdehnung der Luft zeigen, vielleicht auch nur, wie später **Otto von Guericke** mit einem ähnlichen an seinem Hause aufgestellten Apparat, nichts anderes, als ein Perpetuum mobile konstruieren. **Galileis** Apparat aber war von ihm von vornherein zum Messen von Temperaturen bestimmt. Ihm hatte, ehe noch die Akademie ihn zu verbessern begann, 1643 der aus Geysa bei Fulda gebürtige Jesuitenpater **Kircher** (1601—80) die in Fig. 26 abgebildete Form gegeben, um mit dem abgeänderten Instrumente leicht die Temperaturen von Flüssigkeiten beobachten zu können. Er hatte so einen Heronsball mit langem und nicht verengtem Glasrohr dargestellt, in welchem die eingeschlossene Luft die Flüssigkeit, Wasser, Wein oder Quecksilber, welches **Kircher** zu dem vorliegenden Zwecke zuerst anwandte, emportrieb. Hatte man grössere Mengen Flüssigkeiten zur Bestimmung ihrer Temperatur zur Verfügung, so war der Apparat, wie **Boyle** bewies, sehr brauchbar, war man auf geringere Mengen beschränkt, so wendete man besser nach des berühmten Physiologen **Swammerdam** (1637—80) Vorgang ein Galileisches Thermometer mit einer flachen Vertiefung in der die Luft

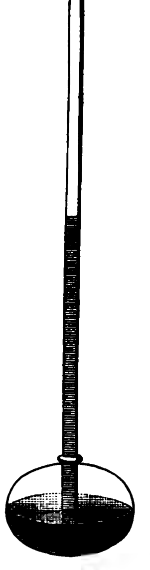


Fig. 26.

enthaltenden Kugel an, in welche die zu untersuchende Flüssigkeit gebracht wurde.

Die Schwierigkeit, die bei dem Kircherschen Apparat das luftdichte Einsetzen der Röhre verursacht, war nun leicht zu heben, wenn man Röhre und Gefäss aus einem Stück nahm, als thermometrische Substanz aber eine Flüssigkeit benutzte. Diesen Gedanken führte zuerst der französische Arzt **Rey** aus (gest. 1645) und bald darauf unabhängig von ihm **Ferdinand II.** von Toscana, dessen Thermometer Fig. 27 zeigt. Der Grossherzog liess von dem sehr geschickten Glasbläser **Mariani** vortreffliche Instrumente der Art herrichten und mit einer Skala versehen, welche mit dem Glas eingeschmolzenen schwarzen und weissen Emailtröpfchen bezeichnet war. Als Flüssigkeit zum Füllen diente Weingeist. Neben diesen nun Florentiner Thermometer genannten Apparaten blieb auch das ursprüngliche von **Galilei** in wenig abgeänderter Form im Gebrauch als belgisches oder Drebbelsches Thermometer. Ein solches, wie es bereits durch **Santorio** eingeführt worden war, zeigt Fig. 28. Man hatte Kugel und Röhre so zusammengepasst, dass die Flüssigkeit beim Übergang von der Temperatur des Winters zu der des Sommers die ganze Röhre durchlief. Die Länge der Röhre aber hatten die Mediziner in vier, die Naturforscher

Fig. 27.

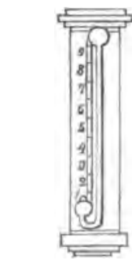


Fig. 28.

in acht Teile geteilt, diese dann wieder in Unterabteilungen.

So weit war die Entwickelung des Thermometers fortgeschritten, als sich die Akademiker des Apparates bemächtigten. Sie übertrugen die Punkte der Winterkälte und Sommerwärme von **Santorios** Apparat auf das Florentiner Thermometer, teilten aber den Abstand zwischen beiden Punkten entweder in 400, oder in 80, oder nur in 40 Teile. Als dann **Fabri** zuerst darauf hinwies, wie wünschenswert für die Genauigkeit dieses Instrumentes der Besitz zweier fester Punkte, zweier unter allen Umständen unveränderlicher Temperaturen sein müsste, suchten sie mit grösstem Eifer solche zu finden. Sie ersetzten die Winterkälte durch die Temperatur des Schnees bei stärkstem Froste, die Sommerwärme durch die Wärme des tierischen Organismus. Aber offenbar war damit nicht viel gewonnen. Die feste Temperatur des schmelzenden Eises, welche ihnen wohl bekannt war, haben sie bei Herstellung ihrer Thermometer dagegen nicht benutzt. Da sie aber sehr gut übereinstimmende Instrumente besassen, bei denen der Eispunkt bei 13 1/2 ihrer Skala lag, so müssen sie ein Thermometer als Urmass benutzt, mit diesem die anderen sorgfältig verglichen haben.

Ausser der Temperatur bestrebten sie sich auch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu bestimmen. Da die Feuchtigkeitszunahme von Wolle, die **Nicolaus de Cusa** zu diesem Zwecke benutzt hatte, wenig befriedigende Resultate gab, so hatte 1664 **Folli da Poppi** die in der Luft enthaltene Feuchtigkeitsmenge mit Hilfe der Längen-

änderung eines Papierstreifens zu bestimmen gesucht, der in der Mitte mit einem Gewichte belastet war. Diesen Apparat behielten die Akademiker bei, ersetzten nur das Papier durch Pergament. Da sie aber auch mit den Leistungen des verbesserten Instrumentes nicht zufrieden waren, so konstruierten sie das erste Kondensationshygrometer, welches Fig. 29 darstellt und als dessen Erfinder sie wieder **Ferdinand II.** nennen. Der in Florenz noch vorhandene Originalapparat besteht aus einem grossen Blechgefässe *A*, welches mit Eis gefüllt erhalten wird. Das abfliessende Schmelzwasser wird in dem unten geschlossenen kegelförmigen Glasgefässe *B* gesammelt, welches es auf einer bestimmten niedern Temperatur hält, indem das sich erwärmende Wasser aufsteigt und durch *C* abfliesst. Das von *B* abtropfende Kondensationswasser aber wird in dem Messgefäss *D* aufgesammelt. Mit Hilfe dieses Apparates beobachteten sie die Änderungen im Feuchtigkeitsgehalt der aus verschiedenen Himmelsgegenden stammenden Winde.

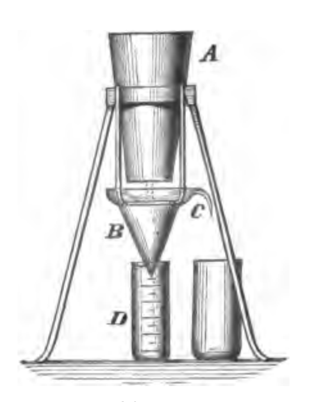


Fig. 29.

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten wandten sie in vorzüglicher Ausführung aus Glas hergestellte Volumeter und Gewichtsaräometer an. Der letztere Apparat ist eine Erfindung **de Robervals,** von dem auch die oberschalige Wage zuerst angegeben

wurde. Bekannt wurden die Florentiner mit dem neuen Messinstrument wohl durch den reisenden Arzt **Monconys** (1611—65). Fig. 30 zeigt seine Form. Die Kugel ist mit Schrotkörnern oder Quecksilber gefüllt und überdies durch das Gewicht *C* beschwert. Das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit bestimmte man damit, indem man den Apparat durch Aufsetzen ringförmiger Gewichte so weit in dieselbe senkte, dass die oberste Spitze *F* des Halses *D* ihren Spiegel berührte.

Dass die Akademie die Torricellischen Beobachtungen fortzuführen suchte, verstand sich für sie von selbst. Neben dem Gefässbarometer hat sie auch bereits das Heberbarometer verwendet. Indem ihre Mitglieder in die Barometerkammer verschiedene Gegenstände brachten, bestätigten sie deren Verhalten im luftleeren Raum, das bereits bei Versuchen mit der Luftpumpe, wovon sogleich die Rede sein wird, beobachtet worden war. Die höchst gewaltsame Ausdehnung des Wassers beim Erstarren zeigten sie, indem sie mit Wasser gefüllte und verschraubte Metallgefässe in eine Kältemischung stellten, in der sie jedesmal barsten oder wenigstens Risse erhielten; auch beobachteten sie die Wärmestrahlung heisser Körper und deren Reflexion an Spiegeln. Die Unzusammendrückbarkeit des Wassers ergaben ihnen Versuche mit silbernen Hohlkugeln, die mit Wasser gefüllt und zugeschraubt wurden. Durch Behandeln mit Hammerschlägen wurde dann das Wasser durch die unverletzte

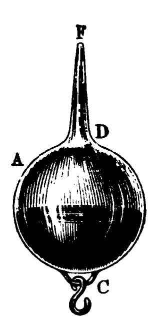


Fig. 30.

Wand des dehnbaren Silbers hindurchgepresst. Solche Kugeln mit dem eingeschlossenen Wasser sind noch vorhanden. Die Versuche, die sie zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes anstellten, lieferten dagegen ebensowenig ein Resultat, wie die von **Galilei** ausgeführten. Die Geschwindigkeit des Schalles fanden sie nach der bereits von **Gassendi** und **Mersenne** benutzten Methode, indem sie aus grosser Entfernung das Abfeuern eines Geschützes beobachteten und die Zeit, die zwischen dem Aufblitzen des Lichtes und dem Hörbarwerden des Knalles verfloss, bestimmten. Unter Anwendung mannigfacher Vorsichtsmassregeln bestimmten sie dieselbe zu 371 *m*, konnten aber einen Einfluss des Windes dabei nicht beobachten.

Etwa um dieselbe Zeit, in welcher **Torricelli** in Florenz in seinem Barometer zum ersten Male einen luftleeren Raum herstellte, suchte auf ganz andere Weise und ohne von jenen Versuchen zu wissen **Otto von Guericke** dieselbe Aufgabe zu lösen. 1602 in Magdeburg geboren, hat er wie **Keppler** alle Schrecken des dreissigjährigen Krieges zu ertragen gehabt. Bei der Zerstörung Magdeburgs wurde er aller seiner Habe beraubt und sah sich infolge davon gezwungen, in schwedische Kriegsdienste als Ingenieur zu treten, die er später mit sächsischen vertauschte. 1642 wurde er in den Rat seiner Vaterstadt gewählt und er hat dieselbe auf verschiedenen Reichstagen, endlich auch beim Friedensschluss in Osnabrück vertreten. 1681 legte er seine Ämter nieder und zog zu seinem Sohne nach Hamburg, wo er 1686 starb. Angeregt durch **Galileis** Arbeiten, fasste **Otto von Guericke** den Plan,

einen leeren Raum, wie den, in welchem sich die Gestirne bewegen, herzustellen und glaubte dies einfach dadurch erreichen zu können, dass er aus einem mit Wasser gefüllten wohlverschlossenen Fasse mittels einer gewöhnlichen Pumpe das Wasser herausnähme. Als sich dies als unthunlich erwies, setzte er ein kleineres Fass in ein grösseres und liess das erste leerpumpen. Obwohl dies unter Aufwendung grösster Mühe gelang, so drang die Luft, wenn auch langsamer, doch wieder ein und die Herstellung eines, wenn nicht luftleeren, doch sehr luftverdünnten Raumes gelang erst, als er das Fass durch eine metallene Kugel ersetzte. Wann er diese Versuche anstellte, wissen wir nicht, nur das ist sicher, dass er sie auf dem Reichstage zu Regensburg 1654 vielen der dort versammelten Fürsten, darunter auch dem Kaiser **Ferdinand III.**, vorführte, wobei namentlich der Versuch mit zwei enormen Halbkugeln aus Bronze, die mit ihren abgeschliffenen Rändern zusammengelegt und ausgepumpt so fest aneinander hafteten, dass sie sechzehn Pferde nicht auseinanderreissen konnten, das grösste Aufsehen erregte. Namentlich interessierte sich der Erzbischof von Mainz und Bischof von Würzburg **Philipp von Schönborn** sehr für die Versuche und erlangte es von ihrem Erfinder, dass ihm derselbe seine Apparate überliess. So kamen sie nach Würzburg in die Hände des dortigen Professors der Physik, des Jesuitenpaters **Schott** (1608—66), der sie 1657 zuerst in seiner „Mechanica hydraulico-pneumatica" beschrieb. Fig. 31 S. 140 stellt die von **Guericke** angewandte Luftpumpe dar. Der kugelförmige Rezipient kann auf den Stiefel aufgesetzt und durch einen Hahn abgeschlossen

werden. Eine am untern Ende des Stiefels befindliche, durch einen Stift verschliessbare Öffnung gestattet beim Herabdrücken des Kolbens der Luft den Austritt. Um die Luftpumpe gegen die äussere Luft abzuschliessen, wird sie in einen mit Wasser gefüllten Zuber gebracht. Mit diesem Apparate machte er den Versuch mit den Halbkugeln, und wies damit nach, dass die Luft elastisch und schwer ist.

Seine Versuche mit der Luftpumpe führten **Otto von Guericke** auf die wenig glückliche Idee, alle Rätsel der



Fig. 31.

Fernewirkungen von Körpern auf einander durch Weltkräfte zu erklären, zu denen er unter andern die Schwere und die Elektrizität, aber auch die Luft rechnet. In der Absicht, diese Kräfte zu studieren, rieb er eine Schwefelkugel mit der Hand und beobachtete dann, dass eine in die Nähe der Kugel gebrachte Feder zunächst von ihr bis zur Berührung angezogen, dann aber abgestossen wurde, an die Hand des Beobachters flog, dann wieder der Anziehung der Kugel folgte und so zwischen Kugel und Hand sich hin und her bewegte. Eine in die Nähe der Feder gebrachte

Flamme trieb dieselbe zur Kugel hin und ebenso wirkte ein in der Hand gehaltener, mit der Spitze gegen sie gekehrter linnener Faden. Wurde aber das eine Ende desselben mit der Kugel verbunden, so erhielt das andere, freie die Eigenschaften derselben. Im Dunkeln gerieben leuchtete die Kugel in mattem Lichte, auch vernahm man, wenn sie gerieben wurde, ein knisterndes Geräusch.

Hätte **Otto von Guericke** diese Versuche ebenso vorurteilsfrei geprüft, wie die mit der Luftpumpe, so hätte er aus ihnen die wichtigsten Eigenschaften der Reibungselektrizität folgern müssen. So aber sah er in diesen Thatsachen nur Äusserungen der Weltkräfte, aus dem Versuche mit der Feder glaubte er die Bewegung des Mondes um die Erde erklären zu können u. s. w. Dass diese Experimente zu neuen Ergebnissen führen mussten, bewies **Leibniz**, als ihm 1672 **Guericke** eine solche Kugel mit Zubehör geschickt hatte, indem er sogleich bei seiner ersten Beschäftigung mit ihr den elektrischen Funken entdeckte und damit **Guerickes** höchstes Erstaunen erregte.

In demselben Brief, in dem **Leibniz** dem Magdeburger Forscher seine Beobachtung mitteilte, übte er auch an dessen Weltkräften eine ziemlich vernichtende Kritik. Aber auch bei den übrigen sachverständigen Zeitgenossen fanden dieselben wenig Anklang und so kam es, dass, während **Guerickes** Versuche mit der Luftpumpe der Ausgangspunkt einer Reihe wichtiger Arbeiten wurden, seine elektrischen Entdeckungen zunächst unberücksichtigt blieben. Namentlich war es **Robert Boyle**, der, sobald er das Buch **Schotts** zu Gesicht bekommen hatte, sogleich daran ging,

**Guerickes** Resultate zu prüfen und zu erweitern. **Boyle** war der 1626 geborene siebente Sohn des **Grafen von Cork.** Nach mannigfachen Reisen in der Schweiz und in Italien lebte er bis 1654 auf seinem Landgut in Dorsetshire, von wo er nach Oxford zog, um 1668 nach London überzusiedeln. Hier starb er 1691. Im Besitze eines grossen Vermögens hat er seine Musse zwischen religiösen und naturwissenschaftlichen Studien geteilt.

Die Mitteilungen **Schotts** veranlassten ihn, längst gehegte Pläne wieder aufzunehmen und sich nach diesen eine Luftpumpe bauen zu lassen, die von der Guerickeschen vielfach abwich. Den Apparat, den er unterstützt von seinem frühern Assistenten **Hooke** 1658 zu stande brachte, stellt Fig. 32 dar. Der Stiefel befindet sich unterhalb des Rezipienten und den Kolben bewegen Zahnstange und Getriebe. Der Rezipient besteht aus einer grossen Glaskugel, an welcher oben die Fassung für einen Deckel, unten die für den Hahn angekittet ist. Den Stift am obern Ende des Stiefels besitzt sie, wie die Guerickesche Konstruktion. Doch war es nun möglich, auch grössere Gegenstände in den Rezipienten zu bringen, ihr Verhalten während des Pumpens zu beobachten, dieses selbst aber konnte in viel leichterer Weise geschehen. Um der grössern Bequemlichkeit willen nahm **Guericke** die Boylesche Anordnung der einzelnen Teile an. Nur liess er bei seiner zweiten, 1676 veröffentlichten Konstruktion den Kolben durch einen zweiarmigen am Gestelle gelagerten Hebel bewegen, legte auch der bessern Dichtung wegen den Abschlusshahn des Rezipienten und den Stift im Stiefel in einen Trichter, der mit Wasser gefüllt wurde. Eine

Luftpumpe dieser zweiten Art, die von **Guericke** herrührt, befindet sich seit dem Ende des 17. Jahrhunderts in der Universitätsbibliothek in Berlin.

Von den vielen Versuchen, die **Boyle** mit der Luftpumpe anstellte, führen wir nur die wichtigsten hier an. Tiere starben bald, nachdem mit dem Pumpen begonnen war, Kerzen verlöschten. Wärme konnte durch Reibung in dem stark ausgepumpten Rezipienten erhalten werden, die Luft konnte also davon nicht die Ursache sein, wie man damals allgemein glaubte. Rauch stieg im Rezipienten nicht in die Höhe, sondern senkte sich. Auch gelang es ihm ein Manometer, einen Druckmesser, herzustellen, mit dessen Hilfe er den Druck der jedesmal während des Pumpens noch vorhandenen Luft bestimmen konnte. Zu dieser Erfindung regten ihn die Einwürfe, welche der in Lüttich lebende Jesuit **Hall**



Fig. 32.

(1595—1675) gegen die Lehre vom Luftdruck gemacht hatte, an. **Hall** oder **Linus,** unter welchem Namen er schrieb, glaubte, dass das Quecksilber durch unsichtbare Fäden, die die Torricellische Leere durchzögen, in dem langen Schenkel des Barometers gehalten würde. Dem gegenüber wollte 1662 **Boyle** zeigen, dass ein kleines, in dem kürzeren, oben geschlossenen Schenkel eines heberförmig gekrümmten Rohres abgeschlossenes Luftvolumen im stande sei, eine beliebig hohe, in den offenen, längern Schenkel gebrachte Quecksilbersäule im Gleichgewicht zu halten, und fand dabei, dass die Luft in demselben Verhältnis dichter wurde, wie die auf ihr lastenden Drucke wuchsen, oder, wie sein Schüler **Townley** es ausdrückte, dass die Volumina einer abgeschlossenen Luftmenge sich umgekehrt wie die Drucke verhielten. Indem er nun den Apparat in entsprechender Grösse anfertigen liess und in den Rezipienten seiner Luftpumpe brachte, konnte er die Druckverminderung in demselben verfolgen. Ausser diesen Versuchen beschäftigte sich **Boyle** mit Bestimmungen der spezifischen Gewichte, wofür er ein besonderes Aräometer konstruierte. Das spezifische Gewicht des Quecksilbers untersuchte er mit kommunizierenden Röhren und fand dafür den Wert $13^3/_4$. Damit ist jedoch die Schilderung der experimentellen Thätigkeit **Boyles** keineswegs erschöpft. Im folgenden Abschnitt wird noch einiges dahin Gehörige nachzutragen sein.

Hier sei nur noch der Verbesserung gedacht, die der Nürnberger Zirkelschmied **Hautsch** 1654 oder 1655 an der Feuerspritze anbrachte, indem er sie durch Zufügung des Heronsballes als Windkessel viel leistungsfähiger

machte, als sie früher gewesen war. Wir haben bereits gesehen, dass man lange geglaubt hat, diese Verbesserung dem Altertume zuschreiben zu müssen, dass jedoch die Untersuchung einer antiken Feuerspritze diese Annahme hinfällig machte. Aber wenn man diese auch nicht gefunden hätte, so würde man aus den Äusserungen der Zeitgenossen über **Hautschs** Erfindung den Beweis führen können, dass sie neuern Ursprunges ist, und namentlich hat **Leibniz** sich alle Mühe gegeben, die neue „rechtschaffene“ Feuerspritze, welche im Gegensatze zu der frühern einen ununterbrochenen Strahl wirft, überall einzuführen.

## Huygens, Newton, Leibniz und ihre Zeit.

Im Gegensatze zu dem unsrigen fehlten den beiden vorhergehenden Jahrhunderten die Mittel, naturwissenschaftliche Neuigkeiten rasch zu verbreiten. Die Arbeit, die jetzt eine übergrosse Zahl wissenschaftlicher Zeitschriften leistet, mussten damals die Forscher selbst übernehmen, indem sie mit einander Briefe wechselten und seit **Galileis** Zeit sind diese eine der allerwichtigsten Quelle für die Geschichte der Physik geworden. Bald machten sich einzelne Männer, wie der bereits erwähnte Pater **Mersenne** oder der Pariser Mathematiker **Boulliau** (1605—94), ein Geschäft daraus, mit möglichst vielen Gelehrten in solcher Weise zu verkehren und bildeten dadurch Mittelpunkte, zu denen von allen Seiten Nachrichten ein-, von denen ebenso Nachrichten ausströmten. Hierzu trat der mündliche Meinungsaustausch im Innern von Akademien. Von Italien ausgehend — die dei Lyncei und del Cimento haben wir bereits kennen gelernt —

verbreiteten sich diese Vereinigungen in alle Länder, wo die Wissenschaften gepflegt wurden. Zuerst folgten eine Anzahl deutscher Ärzte dem Beispiel der Italiener, indem sie 1651 eine wissenschaftliche Gesellschaft gründeten, die 1670 mit der Ausgabe von Ephemeriden begann und 1672 von Kaiser **Leopold I.** mit Privilegien versehen wurde. **Karl VI.** bestätigte dieselben und auch heute noch nehmen die Veröffentlichungen der **Academia Cäsareo-Leopoldina-Carolina** einen ehrenvollen Platz in der naturwissenschaftlichen Litteratur ein. Da aber ihre Mitglieder an den verschiedensten Orten wohnten, so konnte die Wirksamkeit ihrer Akademie nur eine beschränkte sein. Einflussreicher wurde der Verein, der etwas später in England als **unsichtbares** oder **philosophisches Kollegium** zusammentrat, unsichtbares, weil es hauptsächlich aus Tories bestand, die allen Grund hatten sich vor den Augen des Lord-Protector zu verbergen, und philosophisches, weil es die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften sich vorgesetzt hatte. Es wurde nach der Restitution von König **Karl II.** 1662 zur königlichen Gesellschaft der Wissenschaften (Royal Society of Sciences) erhoben und gab seit 1666 regelmässig Abhandlungen heraus. In dem nämlichen Jahre vereinigte **Colbert** die Gelehrten, welche sich bei **Mersenne,** später bei **Monmor** in Paris zum Zwecke des Austausches wissenschaftlicher Forschungen, zu versammeln pflegten, zur Académie Française, die ihre Arbeiten anfangs in dem 1665 gegründeten Journal des Savants, seit 1700 in eigenen Schriften mitteilte. So hatte man in England und Frankreich mit den Akademien auch Organe zur Veröffentlichung ihrer Arbeiten geschaffen, in Deutschland

aber fügte man den Schriften der Leopoldinischen Akademie eine zweite wissenschaftliche Zeitschrift hinzu, die 1682 von dem Leipziger Professor **Mencke** (1644—1701) gegründeten Acta Eruditorum, welche während der nächsten hundert Jahre den Fortschritt in allen Wissenschaften zum öffentlichen Bewusstsein brachte. Mit dem Anfang des neuen Jahrhunderts gelang es sodann den unausgesetzten Bemühungen **Leibnizens,** die Gründung der Berliner Akademie der Wissenschaften durchzusetzen, deren erster Präsident er wurde. Wenn nun auch durch diese Institute, denen bald noch andere folgten, die Wahrung der Priorität von Erfindungen sehr erleichtert wurde, so wandte man die alten Mittel des Anagramms und des Stellens von Aufgaben doch auch noch an und namentlich war **Leibniz** unermüdlich darin, den Fachgenossen aufzulösende Probleme vorzulegen.

Die drei Männer, deren Arbeiten den gegenwärtigen Abschnitt bezeichnen, sind **Huygens, Newton** und **Leibniz,** denen man als vierten noch **Papin** zugesellen muss. Indem sie sich gegenseitig anregten oder bekämpften, behandelten sie nicht selten dieselben Aufgaben und es ist deshalb nicht möglich, wie bei Darstellung der Zeit **Galileis** geschehen konnte, die Geschichte der Physik dieses Zeitraums an die Thätigkeit und das Geschick eines Mannes anzuschliessen. An die Stelle des einen treten jene drei. Im Gegensatze zu **Galilei** verlief ihr Leben ohne gewaltsame Eingriffe und ihre Beschäftigung mit den Wissenschaften, die in fördernder Weise nunmehr fast nur von Nichtkatholiken ausgeübt wurde, ist von den Schicksalen ihres Lebens kaum beeinflusst worden. Beginnen wir damit, diese zu schildern.

**Christiaan Huygens van Zuylichem**, am 14. April 1629 im Haag geboren, wurde, nachdem er verschiedene Reisen gemacht hatte, 1666 zum Mitgliede der neu errichteten Pariser Akademie ernannt, legte aber seine Stelle 1681 infolge der Aufhebung des Ediktes von Nantes nieder und lebte von da an bis zu seinem am 8. Juni 1695 erfolgten Tode in seiner Vaterstadt. **Isaak Newton** erblickte am 5. Januar 1643 in Woolsthorpe in Lincoln das Licht der Welt, nachdem sein Vater kurz vor seiner Geburt gestorben war. Seine Vermögensverhältnisse erlaubten ihm seine Studien mit Bequemlichkeit zu beendigen. 1669 wurde er Professor der Mathematik in Cambridge, 1695 daneben noch Aufseher der Königlichen Münze und 1699 Münzmeister. 1703 legte er seine Professur nieder und starb am 31. März 1727. Seine produktiven naturwissenschaftlichen Arbeiten erreichten 1693 infolge einer Krankheit, die er sich wohl durch Überarbeitung zugezogen hatte, ein Ende. Seitdem beschäftigte er sich viel mit theologischen Studien.

**Gottfried Wilhelm von Leibniz** war am 21. Juni 1646 in Leipzig geboren. Schon im Alter von fünfzehn Jahren bezog er die Universität seiner Vaterstadt, promovierte aber fünf Jahre später in Altdorf bei Nürnberg, da man ihm in Leipzig die Doktorwürde wegen zu grosser Jugend verweigerte. Der junge Doktor blieb zunächst in Nürnberg und benutzte seinen Aufenthalt daselbst im Anschluss an die sich **Rosenkreuzer** nennenden Alchemisten, die Chemie der damaligen Zeit zu studieren. Von dort ging er, als kurfürstlicher Rat, nach Mainz und wurde 1676 nach vorübergehendem Aufenthalt in Paris und London Biblio-

thekar und Hofrat in Hannover, in welcher Stellung er bis zu seinem am 14. November 1716 erfolgten Tode verblieb. Einzig war **Leibnizens** Kraft des Nachdenkens und Erfindens und nur mit der Stärke seines Gedächtnisses zu vergleichen. Es ist ein Verdienst **Lessings**, dies wieder erkannt zu haben, nachdem man sich daran gewöhnt hatte, den in fast allen Gebieten des Wissens bahnbrechenden Gelehrten nur als gelehrten Polyhistor zu betrachten, und es verrät wenig Kenntnis dessen, was er geleistet hat, wenn man dieser Ansicht hie und da auch heute noch begegnet. Aber auch seine Wissbegierde stand hinter jenen Eigenschaften nicht zurück, und so ist denn der Briefwechsel, den er überall anknüpfte, wo er auf ihre Befriedigung hoffen konnte, für die Geschichte seiner Zeit von Grund legender Bedeutung geworden.

In einer seiner ersten Arbeiten suchte **Huygens** die Aufgabe der genauen Zeitbestimmung zu lösen, wegen deren die Regierung seines Vaterlandes mit **Galilei** noch in dessen letzten Lebensjahren verhandelt hatte und von der nur bekannt geworden war, dass sie damals ungelöst geblieben. Es gelang ihm eine Pendeluhr herzustellen, die 1656 von den Generalstaaten patentiert, 1658 von ihm veröffentlicht wurde. Um hervorzuheben, worauf es bei dieser Erfindung damals ankam, giebt Fig. 33 S. 150 das Prinzip der Uhr, wie es seit **von Wyk** zur Anwendung gekommen war. Das Gewicht *G* sucht die Seilrolle *W*, von welcher aus durch das Rad *R* das Uhrwerk und das Steigerrad *S* getrieben wird, zu drehen. Das letztere lässt aber diese Drehung nur dann zu, wenn seine Zähne an den Platten *P* der senkrecht stehenden Achse *A* vorbei können. Die Zähne haben eine dreieckige Form und

liegen für gewöhnlich mit ihrem steil abfallenden Teil an den Platten *P* an, deren Ebenen etwa einen rechten Winkel mit einander bilden und deren Kanten an der den Zähnen zugewandten Seite abgerundet sind. Die Achse *A* trägt nun die beiderseits mit den Gewichten *H* beschwerte Stange *B*, die durch den Druck des das Rad *S* zu drehen strebenden Gewichtes *G* zur Seite gedrängt wird, bis der oben oder unten anliegende Zahn an der entsprechenden Platte *P* vorbei kann. *S* rückt dann um einen Zahn weiter, da aber die ebenfalls weiterschwingende Stange *B* nunmehr die andere Platte *P* vor einen Zahn an der diametral entgegengesetzten Seite legt, so drückt *A* das Rad *S* wieder zurück und seine Bewegung hört erst auf, nachdem *G* wieder um ein wenig gehoben worden ist. Die Wirkung von *G* drückt alsdann *B* wieder zurück und das Spiel wiederholt sich, da der an der abgerundeten Kante von *P* abrutschende Zahn dem Horizontalpendel immer von neuem einen Stoss erteilt.

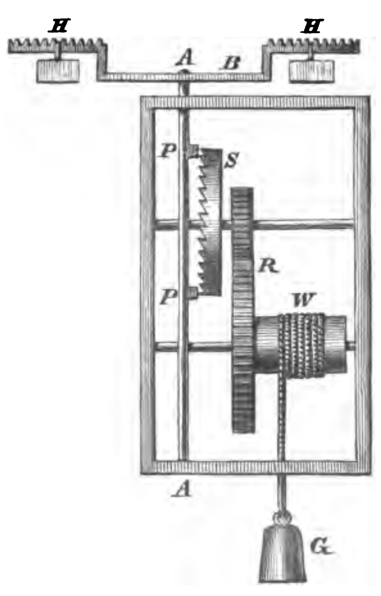


Fig. 33.

Die Schwingungen eines solchen Horizontalpendels sind nun aber nicht isochron und die von ihnen regulierten Uhren zeichneten sich deshalb eben nicht durch gleichmässigen Gang aus. **Huygens** erreichte einen solchen, indem er in der einfachen Weise der Fig. 34 das Horizontalpendel durch das gewöhnliche Pendel ersetzte. Er fügte die beiden Räder $r_1$ und $r_2$ hinzu und liess das zur Vermeidung der Reibung an einem Faden oder einem federnden Stahlstreifen aufgehängte Pendel *V* von dem Steigerrade *S* aus durch die Gabel *C* bewegen. So hatte es nicht die mindeste Schwierigkeit jede der damaligen so unzuverlässigen Uhren in eine solche umzuändern, deren Gang nichts zu wünschen übrig liess.

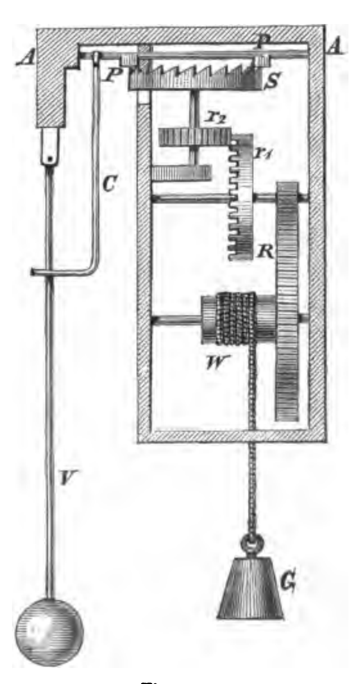


Fig. 34.

Auf der See aber waren solche Uhren nicht zu verwenden; das Bestreben der Generalstaaten bei den Verhandlungen mit **Galilei** war aber auf die Konstruktion von Uhren, mit deren Hilfe die Seefahrer die geographische Länge bestimmen konnten, gerichtet gewesen. Ihrer Form nach

würden die mit Horizontalpendeln versehenen Tafeluhren der damaligen Zeit für diesen Zweck in hohem Grade geeignet gewesen sein, wenn die Schwingungen des Pendels isochron gemacht werden konnten. Auch das gelang dem jungen Niederländer. Er liess bei jeder Schwingung des Pendels eine Spiralfeder zusammendrücken und sich wieder ausdehnen, wodurch dasselbe dann ebenso in seine Ruhelage zurückgetrieben wurde, wie das gewöhnliche Pendel von der Schwere, und so erfand **Huygens** auch die Unruh, die seitdem in den Taschenuhren die ausgebreitetste Verwendung fand.

Er hatte allen Grund, auf seine schöne Erfindung stolz zu sein, die der Wissenschaft und Technik von unberechenbarem Nutzen werden musste. Um so unangenehmer wurde er überrascht, als sogleich nach dem Bekanntwerden derselben der Prinz **Leopold von Medici** durch **Boulliau** Prioritätsansprüche zu Gunsten **Galileis** erhob. Nachdem **Huygens** jedoch mit der letzten, so lange geheim gehaltenen Erfindung des von ihm hoch verehrten Mannes bekannt geworden war, stand er keinen Augenblick an, dessen Priorität anzuerkennen. Er konnte es thun, ohne seinen Anteil an der Erfindung preis zu geben, musste ja doch jeder sogleich sehen, dass seine Erfindung unabhängig von der **Galileis** und der bequemen Anwendung viel fähiger war, und wenn auch die ungeschickte Art, mit der **Boulliau** die Verhandlungen zwischen ihm und dem Prinzen führte, ihm viel Verdruss bereitete, so hat sie uns anderseits einen um so erhebenderen Einblick in seine hochherzige Denkweise thun lassen.

Dass seine Erfindung auf tiefer gehenden Studien beruhte, bewiesen seine bald folgenden theoretischen

Arbeiten über die Pendelbewegung. Es war ein wichtiger Fortschritt, dass er zeigte, wie auch die Bewegung eines physischen Pendels, eines an einer schweren Stange oder einem Drahte hängenden Gewichtes, nach den Pendelgesetzen behandelt werden könne, wenn man nur den Schwingungspunkt suchte, dessen Abstand vom Aufhängepunkte die Länge des mathematischen Pendels von gleicher Schwingungsdauer giebt. Auch erkannte er, dass die Unvollkommenheit, die die stossweise Bewegung des als Regulator dienenden Pendels mit sich bringt, durch Anwendung eines konischen oder Zentrifugalpendels, dessen Gewicht fortwährend einen Kreis mit gleichbleibender Geschwindigkeit durchläuft, gehoben werden könne.

Zu diesem Ergebnis hatte ihn die Untersuchung der Zentralbewegung geführt, die er indessen auf die Kreisbewegung beschränkte. Er fand, dass sie entsteht, wenn den Körper aus der Richtung seiner in der Tangente der Bahn erfolgenden Bewegung eine ihn nach dem Mittelpunkt ziehende Kraft fortwährend ablenkt, wobei alsdann der gegen diese hervorgerufene Widerstand als die radial nach aussen wirkende Zentrifugalkraft auftritt. Die Kenntnis dieser Gesetze setzte ihn dann in den Stand, die Beobachtung, die 1671 der französische Astronom **Richer** (gest. 1696) in der niedern Breite von Cayenne machte, dass das Sekundenpendel dort um $^5/_4$ Linien kürzer war, als in Paris, zu erklären. Infolge der immer wachsenden Zentrifugalkraft der an der Erdoberfläche gelegenen Punkte müsse die Schwere von den Polen nach dem Äquator abnehmen. Dieselbe müsse das Meerwasser von den Polen gegen den Äquator hin treiben; da aber das Land sich

nirgends sehr hoch über das Meer erhebt, so müsse die Erde die Form einer abgeplatteten Kugel haben. Die Grösse ihrer Abplattung zu bestimmen gelang ihm auch und er verfehlte nicht, seine Annahme durch Versuche mittels einer Kugel von weichem Thon, die auf eine Achse gesteckt und in rasche Rotation gesetzt wurde, zu bestätigen.

Im Jahre 1668, ein Jahr nach Vollendung dieser schönen Arbeiten, hatte die Londoner Gesellschaft der Wissenschaften als Preisaufgabe die Untersuchung der Lehre vom Stosse ausgeschrieben, mit der sich **Galilei** und **Cartesius** ohne genügenden Erfolg bereits beschäftigt hatten. Der Oxforder Professor **Wallis** (1616—1703), der Erbauer der Paulskirche **Wren** (1632—1723) und **Huygens** sandten Lösungen ein. Von diesen hatte aber nur der Niederländer die Lehre allgemein entwickelt und dabei das Gesetz zuerst ausgesprochen, das später von **Leibniz** das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft genannt wurde.

Neben diesen Arbeiten, die das Gebiet der Mechanik erweiterten, gingen andere her, deren Frucht die erste neue bedeutende Entdeckung am Himmel nach **Galilei** war, die Entdeckung des Saturnringes und der Saturnmonde. **Galilei** hatte, wie wir sahen, den äussersten der damals bekannten Planeten dreifach gesehen, es war natürlich, dass diese sonderbare Form zu weiterer Forschung anspornte. Indessen war wenig Hoffnung, mit einem holländischen Fernrohr, wie das von **Galilei** angewandte, bessere Ergebnisse zu erhalten. **Huygens** benutzte deshalb mit bestem Erfolg ein astronomisches Fernrohr, dessen Linse **Campani** geschliffen hatte. In der Folge haben sich

er selbst und sein Bruder **Constantyn** (1628—97) auch vielfach mit der Herstellung von Fernrohren beschäftigt und **Huygens** gravierte das Anagramm, in dem er seine Entdeckung des Saturnmondes verborgen hatte, in eine grosse von ihm selbst geschliffene Linse, die als Objektiv eines mächtigen Fernrohres dienen sollte. Bei der Länge, die dasselbe erhalten musste, war freilich die Anwendung einer Röhre als Fassung ausgeschlossen und so sollte ein Luftfernrohr hergestellt, beide Linsen an verschiedenen Stangen in entsprechender Entfernung drehbar und verschiebbar angebracht werden. Dies ist die einzige Linse, die **Christiaan Huygens** geschliffen, die anderen, die auf seinen Namen gehen, rühren von seinem Bruder her. Sie hat sich kürzlich unter alten Linsen in Utrecht wiedergefunden; an dem Anagramm, das sie trägt, konnte sie erkannt werden.

So war durch **Huygens** der einzige noch dunkle Punkt in der Kenntnis des Baues des Planetensystems aufgeklärt; aber noch fehlte die Grundlage eines Gesetzes, welches die in ihm waltende Harmonie, nach welcher **Keppler** vergeblich gesucht hatte, erkennen liess. Dieses fand 1686 **Newton**, den einer bekannten aber nicht gerade wahrscheinlichen Erzählung nach die Beobachtung eines fallenden Apfels darauf führte. Indem er das dritte Kepplersche Gesetz mit den Gesetzen der Zentralbewegung, die er allgemeiner, als **Huygens**, fasste, kombinierte, fand er, dass die Schwere im Verhältnis der Quadrate der einander anziehenden Körper erfolgen müsse, und er gab sich daran, dieses Gesetz an der Bewegung des Mondes zu prüfen, den die Schwere ja in seiner Bahn halten muss. Dabei ergab

sich aber eine so geringe Übereinstimmung seiner Theorie mit den Beobachtungen, dass das Vertrauen des Cambridger Professors in das neue Gesetz erschüttert wurde. Erst als er den Wert des Erdhalbmessers zu Grunde legte, den **Picard** (1620—82) aus einer nach **Snells** Methode zwischen Amiens und Malvoisine 1669 und 1670 ausgeführten Gradmessung abgeleitet hatte, wurde die Übereinstimmung der Beobachtungen mit der Theorie eine bessere. Nachdem er dann weiter gezeigt hatte, dass die Anziehung auch dem Produkte der anziehenden Massen proportional sein müsse, gelang es ihm, die drei Kepplerschen Gesetze aus seiner Annahme zu entwickeln und so wurde sein Gravitationsgesetz der Ausgangspunkt der neuern, auf mathematischer Grundlage ruhenden Astronomie. Nunmehr glückte ihm auch die Erklärung des sechsstündigen Wechsels von **Ebbe und Flut,** indem die Anziehung der Sonne und des Mondes nicht nur den ihnen zugewendeten Punkt der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkt, sondern auch diesen von dem abgewandten Punkt derselben wegziehen musste, und auf das Prinzip der Trägheit fiel neues Licht. **Newton** leitete sodann das Gesetz ab, dass keine Wirkung ohne eine ihr gleiche Gegenwirkung bestehen könne, brachte auch den Satz von der Zusammensetzung der Kräfte und dessen Anwendung auf die Maschinen auf die Form, in der wir ihn seitdem verwenden, was freilich vor ihm bereits dem Pariser Professor der Mathematik **Varignon** (1654—1722) gelungen war.

Mit der Aufstellung des Gravitationsgesetzes hatte **Newton** über das Wesen der Gravitation oder Schwere durchaus keine Annahme gemacht. Indem er aber die

einzelnen Massenteilchen mit anziehenden Kräften begabte, gewann es den Anschein, als sei damit auch die Massenanziehung selbst erklärt und so wurde die grosse Entdeckung schuld, dass die Lehre von den Atomen in bedenkliche Bahnen geriet, dass man, nachdem **Huygens** den letzten Versuch, die Ursache der Schwere zu erklären, gemacht hatte, bis in die neueste Zeit auf die Lösung dieser Aufgabe verzichtete, wenn man von den das gleiche Ziel suchenden, aber die Sache wenig fördernden Bestrebungen **Eulers** absieht.

Während **Huygens** noch daran festhielt, dass eine wahre Philosophie die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe, auf Bewegung zurückführen müsse, hatten schon **Borelli** und **Boyle** die unveränderlichen Atome **Gassendis** aufgegeben und an ihre Stelle andere gesetzt, welche, wie auch der leere Raum zwischen ihnen, jede Veränderung einzugehen im stande sein sollten. War dadurch der Begriff des Atoms auf Kosten seiner individuellen Existenz ein viel fügsamerer geworden, so musste die Ausstattung jedes kleinsten materiellen Teilchens mit anziehenden Kräften durch **Newton** die Konsequenz nahelegen, die Körperlichkeit des Atoms ganz fallen zu lassen und statt dessen nur ein Kraftzentrum zu setzen, eine Konsequenz, die der Jesuit **Boscovich** (1711—87) später, das Bestehen des Stoffes gänzlich preisgebend, in der That zog.

Wenn auch **Boyles** Ansichten über die Atome in physikalischer Beziehung einen bedenklichen Rückschritt bedeuteten, so leistete er doch der Chemie den doppelten Dienst, dass er sie einmal näher an die Physik anschloss, und sodann, dass er den chemischen Begriff des Elementes als des

einfachen Stoffs, dessen Verbindung mit anderen zusammengesetzte Stoffe ergiebt, einführte und so den Grund der Chemie als selbständiger Wissenschaft legte.

Im Gegensatze zu **Boyle**, behielt **Huygens** bei seinem Versuch zur Erklärung der Schwere die unveränderlichen, in Bewegung begriffenen Atome bei. **Cartesius** hatte das Problem dadurch zu lösen gemeint, dass er der kreisförmigen Bewegung seines ersten und zweiten Elementes parallel dem Erdäquator, die die Umdrehung der Erde bewirke, eine zweite, radiale hinzufügte, welche Ursache der Schwere werden sollte. Den Widerspruch, den diese Annahme einer so gearteten doppelten Bewegung enthielt, suchte **Huygens** zu entfernen, indem er den die Schwere verursachenden Teilchen nur eine einzige und zwar geradlinige Bewegung zuschrieb. Indem er dann weiter annahm, dass sie aus einem kugelförmigen Raum nicht herauskönnten, zwang er sie in Bahnen, welche grösste Kreise dieser Kugeln darstellten. Dabei sollten die leichteren, in rascherer Bewegung begriffenen Teilchen mehr nach aussen bewegt werden und die langsamer rotierenden irdischen Teile zum Erdmittelpunkte hin dringen. Es ist freilich nicht recht ersichtlich, warum die leichteren Teilchen nicht vielmehr dem Äquator parallele Kreise beschreiben sollten, und so machte bereits **Jacob Bernoulli** (1654—1705) gegen **Huygens**' Annahme geltend, dass die irdischen Teile wohl gegen die Erdachse aber keineswegs gegen den Erdmittelpunkt gedrängt werden müssten.

Die übertriebene Verehrung, die die Engländer ihrem grossen Landsmann **Newton** entgegenbrachten, ist Ursache für das bis in die neueste Zeit als unzweifelhaft angesehene

Dogma gewesen, derselbe sei der Erfinder der Differential- und Integralrechnung, des Teiles der Mathematik, welcher, indem er die Beschränkung unseres, nur in diskreter Form möglichen Denkens aufhebt, für den Fortschritt der mit kontinuierlichen Grössen operierenden Naturwissenschaft von der allergrössten Bedeutung sein musste. Erst die genaue Einsicht in den litterarischen Nachlass **Leibnizens** hat gezeigt, dass dieser und nur dieser die neue Rechnung erfunden hat. Den entscheidenden Schritt that er am 29. Oktober 1675 in Paris, als er die besonderen Begriffsbezeichnungen einführte, auf welche alles ankommt. Zwar hatte **Newton** 1666 eine ähnliche Rechnungsart, die Fluxionsrechnung, entworfen, die indessen viel weniger allgemein war und nicht über ausreichende Bezeichnungen verfügte. **Newtons** Methode lernte **Leibniz** erst kennen, als er die seinige längst vollständig konzipiert hatte. Obwohl sehr vorsichtig in der Mitteilung derselben, schien es ihm doch zweckmässig, durch den damaligen Sekretär der Royal Society, durch **Oldenburg** (1626—78), im Jahre 1676 **Newton** ihre Grundzüge mitteilen zu lassen, und er suchte ausserdem durch Lösung von Aufgaben und sonstige Veröffentlichungen darzuthun, welche Tragweite seiner Erfindung zukomme. **Newton** dagegen wandte noch nicht einmal in seinem 1686 vollendeten Hauptwerke, den Philosophiae naturalis principiis mathematicis seine Fluxionsrechnung an.

Bei Stellung einer seiner Aufgaben hatte **Leibniz** 1699 unnötigerweise die Mathematiker namhaft gemacht, die sie würden lösen können. Es waren diejenigen, die er im Besitz seiner neuen Methode wusste, darunter namentlich

die Brüder **Jacob** und **Johann Bernoulli** (1667—1747), der Marquis **de l'Hospital** (1661—1704) und **Newton.** Nicht erwähnt war aber der in London lebende Schweizer **Fatio de Duillier** (1664—1753), der sich nun für diese, wie er glaubte, unverdiente Zurücksetzung dadurch rächte, dass er mit einer Schrift hervortrat, welche **Newton** die Erfindung der Differential- und Integralrechnung zueignete. Die grosse Menge der Mathematiker schloss sich ihm an, auf die Flut nunmehr über dasselbe Thema erscheinender Schriften konnte **Leibniz**, der damals schon ziemlich allein stand, aber nicht wohl antworten, da sie sämtlich von untergeordneten Mathematikern ausgingen. Einige anonym von ihm veröffentlichte Schriften blieben ohne Wirkung, und so war es erst unserer Zeit vorbehalten, den wahren Sachverhalt wieder ans Licht zu bringen.

Die Optik hatte sich vor **Huygens** und **Newton** hauptsächlich auf die Untersuchung der Reflexion und Brechung beschränkt und war bestrebt gewesen, die erhaltenen Resultate für die Herstellung von Fernrohren und Mikroskopen zu verwerten. Namentlich suchte man durch Vergrösserung der angewendeten Linsen die Güte der Fernrohre zu erhöhen, aber man verfügte noch nicht über gleichmässigen Glasfluss und so waren die riesigen Linsen, die der ausgezeichnete Mathematiker Graf **Tschirnhaus** (1651—1708) herstellte, weil voller Fäden und Schlieren, für optische Zwecke völlig unbrauchbar, sie konnten nur zu Wärmeversuchen dienen. Das zusammengesetzte Mikroskop hatten **Divini** und **Hooke** verbessert, der letztere 1665 eine Reihe Beobachtungen, die er mit demselben gemacht hatte, veröffentlicht. Trotzdem bediente sich der

bedeutendste Mikroskopiker damaliger Zeit, der Delfter Privatmann **Leeuwenhoek** (1632—1723), einfacher Mikroskope, die er sich anfertigte, indem er in eine kleine, in Messing- oder Silberblech geschlagene Öffnung ein Tröpfchen geschmolzenen Glases fallen liess, das erstarrend fast kugelförmig wurde. Mit solchen einfachen Apparaten entdeckte er unter anderm die Spermatozoen und den Blutumlauf im Körper eines lebenden Aales.

Aber auch einige wenige Thatsachen der höhern Optik waren beobachtet und bereits zu deuten versucht worden. Der Jesuit **Grimaldi** (1618—63) hatte bemerkt, dass Licht, welches durch eine enge Öffnung in ein Zimmer fällt, von schmalen Körpern breitere Schatten entwirft, als sich mit seiner Fortpflanzung in gerader Linie vereinigen lässt, und die Ränder dieser Schatten von abwechselnd farbigen und dunkeln Streifen umgeben gesehen. Er hatte diese Erscheinung Beugung oder Diffraktion des Lichtes genannt. Als er dann das Licht durch zwei ganz nahe nebeneinander angebrachte Öffnungen hatte gehen lassen, so dass die auf einem weissen Schirm von denselben entworfenen hellen Kreise sich zum Teile deckten, hatte er die von beiden Kreisen getroffene Stelle in der Mitte zwar heller, als die nur von einem bedeckten, die hellere Mitte aber von zwei dunkleren Bögen umgeben gesehen. Er hatte daraus geschlossen, dass zu Licht hinzugefügtes Licht unter Umständen Dunkelheit geben könne, und sich diese auffallende Erscheinung durch die Annahme erklärt, dass das Licht eine Art wellenförmiger Bewegung einer sehr feinen Flüssigkeit sei. Zu klareren Vorstellungen war er indessen nicht gekommen.

**Grimaldis** Entdeckung der Interferenz, wie die zuletzt erwähnte Erscheinung später benannt wurde, und der Beugung wurde erst zwei Jahre nach seinem Tode veröffentlicht. Kurze Zeit darauf, im Jahre 1669, überraschte der Kopenhagener Professor **Erasmus Bartholinus** (1625—98) die wissenschaftliche Welt durch eine noch eigentümlichere Beobachtung auf optischem Gebiet. Er fand, dass die durchsichtige Art des Kalkspates, welche sich in Island findet, einen auf eine seiner Flächen fallenden Lichtstrahl nicht nur ablenke, sondern auch in zwei Strahlen zerlege, von denen nur der eine dem Brechungsgesetz folge. Fast zu derselben Zeit (1676) warf einem Schüler **Bartholins**, dem nachherigen Direktor der Kopenhagener Sternwarte **Römer** (1644—1710), ein günstiges Geschick die Lösung einer Frage in den Schoss, die **Galilei** und die Mitglieder der **Accademia del Cimento** vergeblich erstrebt hatten. Er fand, dass scheinbare Verzögerungen in der Umlaufszeit der Jupitertrabanten ihren Grund haben müssten in der messbaren Zeit, die das Licht brauche, um vom Jupiter zu uns zu gelangen, und bestimmte aus denselben die Geschwindigkeit des Lichtes zu 42 000 Meilen in der Sekunde, damit die Cartesianische Ansicht, dass sich das Licht momentan ausbreite, über den Haufen werfend.

Diesen Thatsachen fügte **Newton** als Ergebnis einer musterhaften Experimentaluntersuchung einige neue zu, die über das Wesen der Farbe Aufschluss geben konnten. Mit einem Glasprisma, wie man solche seit Anfang des 17. Jahrhunderts herstellte, zeigte er, dass das weisse Licht aus verschiedensten Farbentönen bestehe, die er zu den

sieben Regenbogenfarben zusammenfasste. Physikalisch fand er sie durch ihre verschiedene Brechbarkeit charakterisiert. Nachdem er weiter die farbigen Ringe, welche entstehen, wenn eine Linse von grossem Halbmesser auf eine ebene Glasplatte gelegt wird, messend verfolgt hatte — sie werden noch nach ihm genannt —, stellte er seine Hypothese über das Wesen des Lichtes auf, die 1672 gedruckt die Optik ein Jahrhundert beherrschen sollte. Er nahm an, dass das Licht aus kleinsten Teilchen bestände, welche für die verschiedenen Farben verschieden gross wären, so zwar, dass ihre Grösse mit wachsender Brechbarkeit abnähme. Von dem leuchtenden Körper ausgeschleudert, prallten sie von den Körpern, auf die sie träfen, ab oder drängen in sie ein, je nach den Anwandlungen, in welchen sie sich befänden. Diesen schwer begreiflichen Anwandlungen mussten später, so oft neue optische Erscheinungen bekannt wurden, andere Eigenschaften hinzugefügt werden. Die Theorie wurde dadurch immer gekünstelter und konnte somit das Kennzeichen einer guten Hypothese, dass neu gefundene Thatsachen sich aus ihr ohne weitere Zusätze ergeben, nicht aufweisen.

Dies war dagegen in höchstem Masse mit der Undulationstheorie des Lichtes der Fall, welche 1678 **Huygens** der Emissionshypothese **Newtons** gegenüberstellte. Von der Ansicht ausgehend, dass es dieser unmöglich sei, die allereinfachste Thatsache der ungestörten geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes bei sich beliebig schneidenden Strahlen zu erklären, hält **Huygens** das Licht nach Art des Schalles für eine Wellenbewegung und zeigt zunächst, dass die erwähnte Schwierigkeit für sie nicht da

ist. Jedes von der Welle aus seiner Gleichgewichtslage gebrachte Teilchen müsse Mittelpunkt einer neuen Welle werden; doch ergäben alle diese sekundären Wellen durch Interferenz die ursprüngliche kugelförmige Welle, deren Mittelpunkt der leuchtende Punkt ist. Alle damals bekannten Thatsachen aus der Lehre vom Lichte, die Doppelbrechung im Kalkspat nicht ausgenommen, stellte er in unübertroffenen Konstruktionen so dar, wie sie sich heute noch in allen physikalischen Lehrbüchern finden. Nur das Verhalten von Lichtstrahlen, die, nachdem sie einen Kalkspat durchsetzt haben, auf einen zweiten fallen, konnte er nicht erklären, da er die Analogie der Lichtwellen mit den Schallwellen so weit trieb, dass er auch die jene verursachenden Schwingungen in der Richtung des Strahles vor sich gehen liess. Die Farben schloss er von seinen Untersuchungen aus, da, wie er in der Vorrede zu seiner Arbeit 1690, in welchem Jahre die Pariser Akademie sie drucken liess, sagt, sich noch niemand eines Erfolges in den darauf bezüglichen Studien rühmen könne.

**Newton** hatte gefunden, dass Prismen, die aus den verschiedensten Substanzen hergestellt waren, das weisse Licht in die nämlichen Farben zerlegten. Er glaubte, freilich ohne dies untersucht zu haben, dass diese Farben auch dieselbe Länge bei gleichem brechenden Winkel des Prisma hätten, und musste alsdann es für unmöglich halten, aus zwei Substanzen ein Prisma zusammenzusetzen, welches zwar Brechung aber keine Farbenzerstreuung zeige. Dann aber war es auch unmöglich, Linsen zu erhalten, welche Bilder ohne Farbenränder liefern. So schien man denn von der Verwendung von Linsen zu Fernrohren absehen

zu müssen und nur auf dem Wege, den zuerst der Edinburger Professor **James Gregory** (1638—75) eingeschlagen hatte, eine Verbesserung derselben erreichen zu können. 1663 hatte **Gregory** den Plan, den er zwei Jahre vorher gefasst hatte: mit Hilfe von Hohlspiegeln Teleskope zu bauen, veröffentlicht, war aber mit der Herstellung nicht zu stande gekommen, als **Newton** bereits ein Spiegelteleskop, das er eigenhändig angefertigt

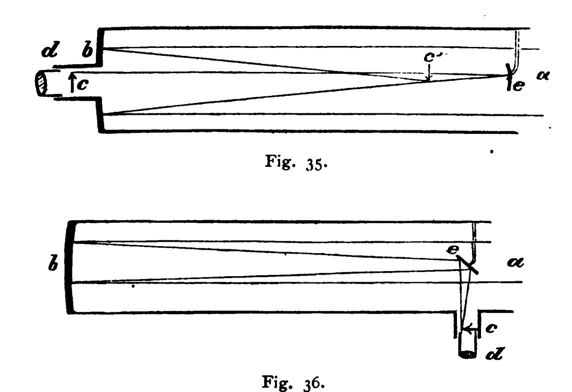



Fig. 35.

Fig. 36.

hatte, der Royal Society vorlegte. Erst nach drei Jahren gelang auch **Gregory** die Herstellung eines solchen Instrumentes.

**Newton** hatte **Gregorys** Entwurf etwas abgeändert. Fig. 35 zeigt das Gregorysche, Fig. 36 das Newtonsche. Bei beiden entwirft ein grosser, im Grunde eines Rohres aufgestellter Hohlspiegel *b* ein umgekehrtes reelles Bild *c'* des Gegenstandes *a*, auf welchen das Rohr gerichtet ist, die als Okular dienende Sammellinse *d* vergrössert dasselbe

alsdann. Da diese aber nicht vor dem Spiegel angebracht werden kann, weil sonst der Kopf des Beobachters den Gegenstand verdecken würde, so werden die Strahlen bei **Gregory** durch den kleinen Hohlspiegel *e* nach hinten reflektiert, so dass hinter dem durchbohrten Spiegel *b* das Bild *c* entsteht. Einen Planspiegel statt *e* zu verwenden geht nicht an, weil er, wenn er nicht eine störende Grösse erhalten soll, das Bild nicht weit genug zurückbringen würde. Da aber die Herstellung dieses kleinen Hohlspiegels nicht leicht ist, so ersetzte ihn **Newton** durch einen Planspiegel, dessen Ebene einen Winkel von 45° mit der Achse des Fernrohres bildet, und entwarf so das Bild *c* seitlich vom Rohre. Das Newtonsche Spiegelteleskop kam seitdem für lange Zeit ausschliesslich in Gebrauch. Namentlich hat **William Herschel** eine grosse Zahl dieser Instrumente selbst hergestellt und seine Entdeckungen am Himmel mit einem derselben gemacht.

Die Schwierigkeit, Hilfskräfte zu erhalten, sobald es sich um bisher nicht angewendete Apparate handelte, war in lästigster Weise auch **Huygens** entgegengetreten, als er 1661 die Versuche **Boyles** mit der Luftpumpe zu wiederholen und durch neue zu vermehren wünschte. Im Haag, wo er damals wohnte, liess er sich durch einen Handwerker die Luftpumpe bauen, wobei der Stiefel zunächst missglückte. Als Liderung des Kolbens nahm er Wolle in solcher Menge, als er anbringen konnte, den Hahn dichtete er, indem er ihn mit einem Lederärmel umgab, während er den ihm von England aus gewordenen Rat, den Hahnsitz aus Zinn, den Wirbel aus Horn zu nehmen, verwarf.

Die Luftpumpe, die zu einer Zeit vollendet wurde, in der **Boyle** zur Wasserdichtung **Guerickes** glaubte zurückkehren zu müssen, übertraf seine Erwartungen. Auch war sie bequemer, als die früheren, indem die als Rezipient dienende Glasglocke *ABC*, Fig. 37, auf einen durchbohrten abgeschliffenen Teller *D* aufgesetzt und ihr unterer Rand mit Kitt gedichtet wurde. In der Durchbohrung mündete das zum Stiefel führende Rohr. Um auch den Grad der Luftverdünnung messen zu können, fügte **Huygens** die ebenfalls in Fig. 37 dargestellte Barometerprobe bei. Sie bestand aus einer Flasche *E*, welche mit Wasser gefüllt und in ein etwas Wasser enthaltendes Glas *HFL* umgestülpt wurde. Bei ihrer Anwendung beobachtete der holländische Forscher zum ersten Mal die Adhäsion des keine Luft mehr enthaltenden Wassers am Glase. Als er gleich am Anfange seiner Versuche sah, dass nach ausreichendem Pumpen sich das Wasser in beiden Gefässen gleich hoch stellte, glaubte er mit seiner Pumpe einen völlig luftleeren Raum zu stande bringen zu können. Wenn er davon nun auch bald zurückkam, so erkannte er doch nicht, dass der sich in beiden Gefässen entwickelnde Wasserdampf die Ursache dieser Täuschung gewesen war.

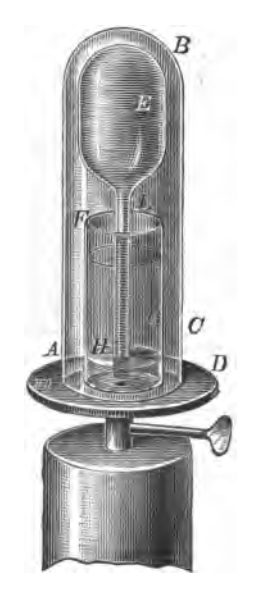



Fig. 37.

In Paris schloss sich an ihn ein junger aus Blois gebürtiger Doktor der Medizin, **Denis Papin** (1647—1712), an, dem er weitere Verbesserungen an der Luftpumpe anzubringen übertrug. Sie erhielt nun die in Fig. 38 abgebildete Form; der Teller war seitlich angebracht, das offene Ende des Stiefels nach oben gelegt. Den kegelförmigen Stift **Guerickes** und **Boyles** ersetzte der Finger des Beobachters, der mit ihm so lange eine im Boden des Stiefels angebrachte Öffnung verschloss, als der Kolben in die Höhe gezogen wurde. Im Verlauf seiner Untersuchungen baute **Papin** eine weitere Luftpumpe, welche Fig. 39 zeigt. Ihre Anordnung ist im wesentlichen dieselbe, die **Huygens** in seiner ersten Konstruktion verwendet hatte. Aber **Papin** stellte die abwechselnde Verbindung des Rezipienten mit dem Stiefel und des Stiefels mit der äussern Atmosphäre durch einen einzigen Hahn her,

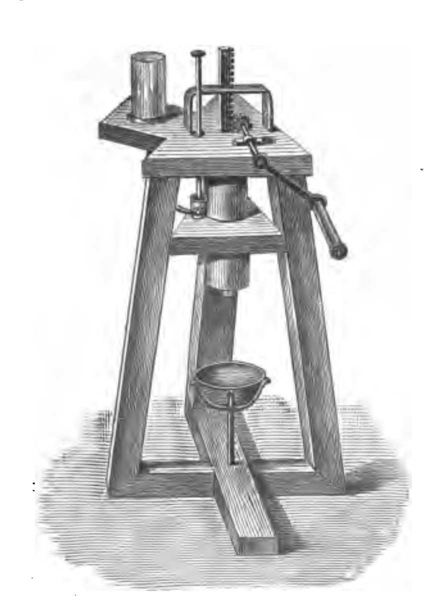


Fig. 38.

der, wie Fig. 40 zeigt, eine Durchbohrung und eine Rille hatte und mittels des Griffes *G* hin- und hergedreht werden konnte. Die Fig. 41 zeigt seine Wirksamkeit in seinen verschiedenen Stellungen. Später hat der Leidener Professor **Senguerd** (1646—1724) anstatt der Rille eine zweite Durchbohrung genommen, damit aber eine so geringfügige Änderung angebracht, dass es nicht statthaft ist, ihn deshalb den Erfinder des doppelt durchbohrten Hahnes zu nennen. Die schöne Erfindung gehört vielmehr **Papin.** Mit diesen Luftpumpen hat **Papin** eine sehr grosse Anzahl Versuche angestellt, die jedoch für uns nur noch geringes Interesse haben.



Fig. 39.

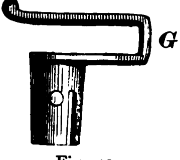
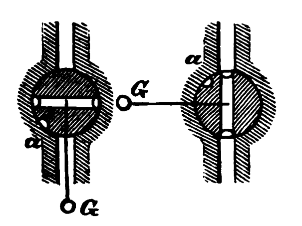



Fig. 40.

Bei Ausführung derselben hatte er aber viel mit mangelhafter Dichtung zu



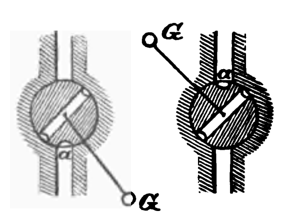




Fig. 41.

kämpfen und es kam ihm deshalb besonders darauf an, eine Pumpe zu besitzen, die rascher pumpte, als die von ihm bisher benutzten. Deshalb stellte er, als er von Paris

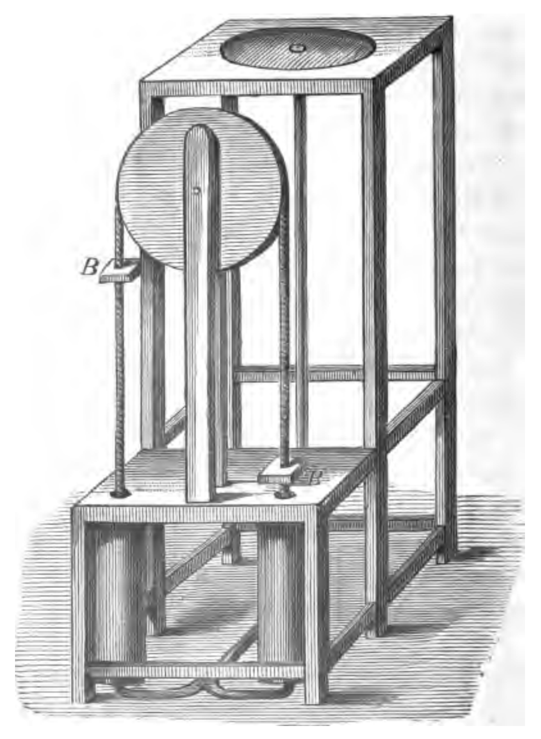



Fig. 42.

sich nach London begeben hatte und dort **Boyle** in seinen Experimenten unterstützte, die in Fig. 42 abgebildete erste zweistiefelige Luftpumpe her, die statt der Hähne Ventile

besass. Der Pumpende stand auf den Trittbrettern *B* und arbeitete nach Art der Bälgetreter bei den Orgeln. Jeder Stiefel besass im Boden ein Ventil, ein zweites war im Kolben angebracht. Die Ventile bestanden aus rechteckigen Stücken Lammsleder, welche über die Öffnung gelegt und an den kurzen Seiten befestigt wurden. Obwohl **Papin** solche schon früher zu den verschiedensten Zwecken verwendet hatte, ist seine Luftpumpe nicht die erste, welche mit Ventilen arbeitete. Diese hatte 1676 der Altdorfer Professor **Sturm** (1635—1703) angegeben.

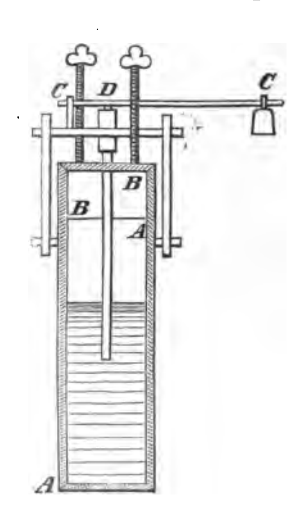


Fig. 43.

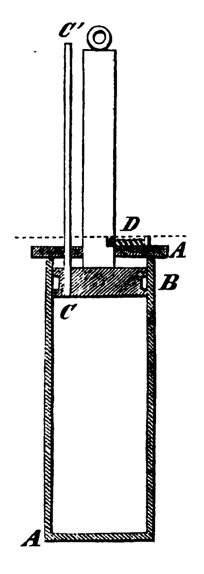
Am bekanntesten ist **Papin** durch einen Apparat geworden, auf den ihn Versuche, welche **Boyle** in einem geschlossenen Wasserbade anstellte, führten, durch den **Digestor** oder **Dampfkochtopf** (Papinischer Topf), Fig. 43. Er besteht aus einem eisernen Kochgefäss *A*, dessen Deckel *B* durch Schrauben aufgepresst wird. An ihm brachte der geschickte Experimentator zuerst das Sicherheitsventil *D* an, ein Kegelventil, auf welches der kürzere Arm eines einarmigen Hebels drückt, dessen längerer Arm mit dem Gewichte *C* beschwert ist.

1681 ging **Papin** als Professor nach Marburg. Gelegentlich eines vorübergehenden Aufenthaltes in dem nahen Kassel wurde er Zeuge der grossen Mühe, die es kostete,

bei Anlage der Karlsaue einen Kanal auszugraben, der tiefer als der Spiegel der benachbarten Fulda lag. Er entwarf damals als besseres Hilfsmittel die Zentrifugalpumpe, deren Einführung aber einstweilen aus Mangel einer genügenden Betriebskraft nicht möglich war. Als Ventilator aber wurde seine Erfindung im Bergwerksbetrieb und in der Landwirtschaft bald sehr verbreitet. Von äusserlich ähnlichen Einrichtungen, wie sie schon **Agricola** abbildet, unterschied sich der Papinische Apparat sehr vorteilhaft durch den Umstand, dass die Luft an der Achse der in einer cylindrischen Kapsel sich bewegenden Schaufelräder ein-, durch einen an der Peripherie der Kapsel in der Richtung der Tangente verlaufenden Kanal austrat. Indem **Papin** nun darauf sann, eine Betriebskraft für seine Pumpe zu gewinnen, gelangte er zur Konstruktion der Feuermaschine, wie man die Dampfmaschine damals nannte.

Er ging dabei von einer Maschine aus, die er für **Huygens** bereits in Paris konstruiert hatte, einen Cylinder mit Kolben, unter dem in regelmässigen Zwischenräumen Pulver abgebrannt wurde. Die Verbrennungsgase hoben den Kolben empor und erzeugten, da sie zumteil entweichen konnten, einen luftleeren Raum unter ihm, in den ihn der Luftdruck wieder herabpresste. **Papin** ersetzte 1690 das Pulver durch eine geringe Menge Wasser, das er abwechselnd verdampfte und sich wieder niederschlagen liess. Den dies ermöglichenden Apparat zeigt Fig. 44. Durch die Öffnung *C* im Kolben *B* wurde das Wasser in den Cylinder gegossen, und darauf *C* durch den Eisenstab *CC'* verschlossen, nachdem der Kolben heruntergestossen war. Der durch einen untergesetzten Ofen erzeugte Wasserdampf hob

ihn alsdann wieder in die Höhe; war er an seinem höchsten Punkt angelangt, so schnappte der Hebel *E* in die Nut *D* in der Kolbenstange ein und der Cylinder konnte nun an den Ort, wo er Arbeit verrichten sollte, gebracht werden. Um ihn dazu zu befähigen, war die Kolbenstange mit Zähnen versehen, die in die Zähne eines Getriebes eingriffen. Waren beide zum Eingriff gebracht, so wurde durch einen Schlag auf das hervorstehende Ende von *E* der Kolben frei gegeben und der Luftdruck presste ihn die das Getriebe tragende Welle drehend herab. Zur Hervorbringung eines starken, rasch erhitzenden Feuers benutzte er seinen Ventilator.



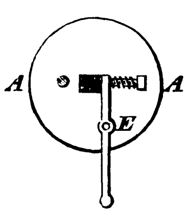




Fig. 44.

Durch die Ungunst der Verhältnisse blieb diese erste atmosphärische Maschine nur Modell, obwohl **Papin** ihre Tragweite vollkommen einsah. Da zunächst keine Aussicht auf Herstellung im grossen war, so wandte sich der unermüdliche Erfinder zur Herstellung eines Taucherschiffes, in dem er sich mehrere Male unter den Spiegel der Fulda hinabliess, die zum Atmen nötige Luft mittels eines Ventilators sich zuführend.

Unterdessen hatte der Engländer **Savery** sich 1698 eine Maschine patentieren lassen, welche bestimmt war mit Hilfe der Spannkraft erhitzten Wasserdampfes die Wasser in Bergwerken zu bewältigen. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass er auf seine Idee nicht durch die ganz dunkle Beschreibung einer Maschine geführt wurde, die 1663 der Marquis von **Worcester** (gest. 1667) gegeben hatte und die uns nichts weiter vor Augen führt, als den damals allgemein gehegten Wunsch, Menschenarbeit durch Maschinenthätigkeit zu ersetzen. Die zufällige Beobachtung von Wasserdampf, welcher sich in einer einen Rest Wein enthaltenden Flasche gebildet hatte, führte ihn vielmehr auf seine Erfindung. **Saverys** Maschine, deren Plan Fig. 45 wiedergiebt, bestand aus zwei Cylindern

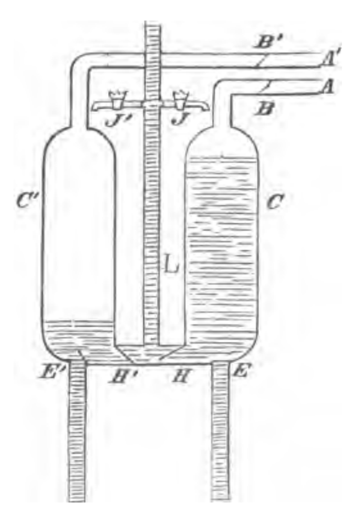



Fig. 45.

*C* und *C'*, in welche bei *E* und *E'* zwei Saugrohre mündeten, während sie durch *H* und *H'* mit dem Steigrohr *L* in Verbindung standen. Durch die Hähne *J* und *J'* konnte Wasser auf die Cylinder gelassen werden, die Rohre *A* und *A'* aber führten in einen Dampfkessel. Die Ventile bei *E* und *E'* öffneten sich in die Cylinder, die bei *H* und *H'* in das Steigrohr, bei *B* und *B'* befanden

sich Drosselklappen, die abwechselnd geschlossen waren. War $B'$ geschlossen, so wurde $J'$ geöffnet. Der Dampf in $C'$ wurde dann niedergeschlagen und in den nun luftverdünnten Raum trieb der Luftdruck durch $E'$ Wasser. Da aber dann $B$ offen war, so trat der Dampf nach $C$ und trieb das Wasser, das vorher eingedrungen war, vermöge seiner Spannkraft in das Steigrohr, worauf das Schliessen von $B$ und Öffnen von $B'$ die Rollen der Cylinder umtauschte.

So schön die Maschine erdacht war, so konnte sie doch keine Wirkung ausüben, da der Kesseldampf fortwährend mit dem kalten Wasser in Verbindung stand, somit fortwährend niedergeschlagen wurde und genügende Spannung nicht erhalten konnte. Erst als **Savery** einen der Cylinder wegliess, erwies sich die Maschine einigermassen brauchbar und eine solche Maschine war es, welche 1717 oder 1718 der Londoner Professor **Desaguiliers** (1683—1744) für **Peter den Grossen** baute.

Eine Zeichnung der Saveryschen Maschine schickte 1705 **Leibniz** an **Papin,** mit dem er 1692 in Briefwechsel getreten war. **Papin**, der seit 1695 in Kassel wohnte, erkannte darin eine Anordnung, die er früher auch einmal hatte ausführen wollen, aber wegen des gerügten Fehlers bald wieder verworfen hatte. Doch erhielt er nun endlich, nachdem er dem Landgrafen **Karl** von Hessen die Zeichnung vorgelegt hatte, den Auftrag, eine Maschine zu bauen, welche Wasser zum Betrieb einer Mahlmühle pumpen sollte.

Er kam rasch dem Auftrage nach und baute die erste Hochdruckmaschine, die Fig. 46 S. 176 im Durchschnitte zeigt. $A$ ist ein mit dem Sicherheitsventil $C$ versehener kupferner Kessel, der durch das Rohr $B$ mit dem Dampf-

cylinder *D* in Verbindung steht, wenn der Hahn *E* geöffnet ist. Der Cylinder *D* besitzt oben eine weite, ebenfalls mit Sicherheitsventil verschlossene Öffnung, unten schliesst sich an ihn das Rohr *M* an, welches in dem durch das sich nach oben öffnende Ventil *r* abgeschlossenen Rohr *F* endet. In seiner Mitte mündet das trichterförmige, durch ein nach unten sich öffnendes Ventil abgeschlossene Rohr *G*.

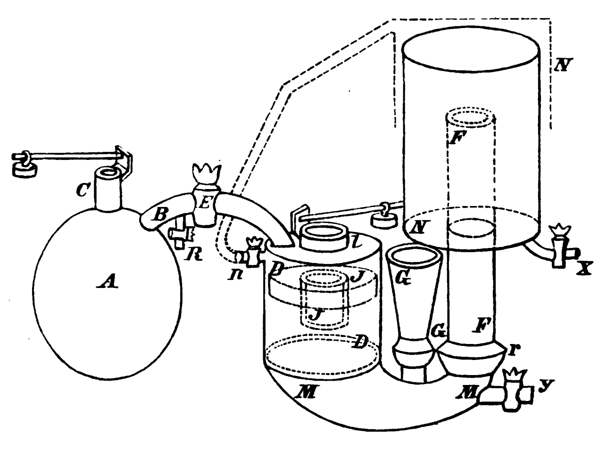



Fig. 46.

*F* ragt in den geschlossenen Cylinder *NN*, der durch den Hahn *X* mit dem Steigrohr in Verbindung steht. In *D* befindet sich der aus einem hohlen Blechcylinder bestehende Schwimmer *J* mit einem unten engern Cylinder, in den ein Stück weissglühenden Eisens durch *l* gebracht werden kann. Gegen dieses trifft der Dampf, expandiert und treibt nun mit kräftigem Stosse Schwimmer und Wasser vor sich her,

die Luft in *NN* zusammenpressend, die nun sich wieder ausdehnend das Wasser in das Steigrohr drückt. Den aus dem Dampfauslasshahn *n* am Ende eines jeden Hubes herausgelassenen Dampf, der sogleich durch Wasser, welches von *G* aus eindringt, ersetzt wird, wollte **Papin** zum Vorwärmen des Wassers benutzen; **Leibniz** schlug vor, ihn nach Anweisung der punktierten Linie um den Cylinder *NN* zu leiten, behufs Verstärkung der jedesmaligen Expansion der Luft, ein Gedanke, den 1816 **Stirling** der Konstruktion der Heissluftmaschine in selbständiger Weise zu Grunde legte. Auch Speisevorrichtungen des Kessels, die Möglichkeit der Steuerung des Dampfauslasshahnes durch die Maschine selbst kamen zwischen **Leibniz** und **Papin** zur Sprache. An der ersten Maschine dieser Art, mit der der letztere im August 1706 Wasser in dem etwa 300 *kg* haltenden Steigrohr bei gänzlich ungenügender Dichtung desselben bis zu einer Höhe von 70 Fuss hob, waren solche allerdings noch nicht angebracht. Der Versuch wurde auf Anordnung des Landgrafen **Karl** von Hessen in Kassel angestellt und sollte der Anfang von weiteren sein. Da aber die vielen anderweitigen Geschäfte des Fürsten die Fortsetzung immer wieder verhinderten, so zog es **Papin** vor, seinen Abschied zu nehmen, um in London, wo er die nötigen Mittel von der Royal Society zu erhalten hoffte, die Konstruktion eines Dampfschiffes zu betreiben. Im Beisein des Landgrafen und **Leibnizens**, der zu diesem Zwecke von Hannover herzugereist war, machte er noch auf der Fulda vorbereitende Versuche mit einem durch Menschenkraft mit Hilfe von Ruderrädern betriebenen Schiff, die wohl gelangen, und erhielt dann in Gnaden seine Entlassung. Die Royal Society, deren Präsident **Newton**

war, versagte aber ihre Hilfe und der Tod **Papins** machte leider nur zu bald allen diesen Bestrebungen ein Ende.

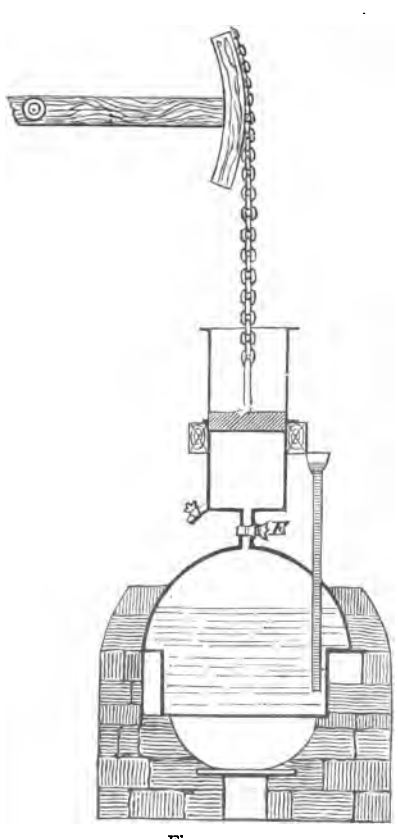



Fig. 47.

So war es dem Erfinder derDampfmaschine nicht gelungen, dieselbe zur praktischen Verwendung zu bringen. Dieses aber erreichten verhältnismässig leicht zwei in den Naturwissenschaften wenig bewanderte englische Gewerbtreibende **New-Comen** und **Cawley** mit der Niederdruckmaschine, die sie durch **Hookes** Vermittelung kennen gelernt hatten. Sie trennten nur Kessel undCylinder und setzten in das Verbindungsrohr beider einen Hahn. Die Einrichtung dieser Maschine zeigt Fig. 47. Die Kolbenstange hing am einen Ende eines Balanciers, dessen anderes Ende das Pumpgestänge trug. Die Speisung des Kessels durch ein frei in die Luft endendes Rohr war nur möglich bei so niedrigen

Drucken, wie sie sie anwendeten. Der Hahn *E* wurde mit der Hand gedreht, Kondensationswasser noch nicht benutzt. Aber das Glück war ihnen hold. Ein jugendlicher Arbeiter, namens **Potter,** welcher das Drehen des Hahnes zu besorgen hatte, erfand die Selbststeuerung und als einmal die Maschine bei geborstenem Kolben besser arbeitete, als sonst, weil bei jedem Aufgang desselben das zur Dichtung aufgegossene Wasser durch den Spalt drang und dadurch den Dampf rascher verdichtete, erkannte **New-Comen** die Vorteile der Kondensation; nach kurzer Zeit waren eine Anzahl New-Comenscher Maschinen in England in Thätigkeit, von wo sie bald nach dem Kontinent kamen. Die erste, 1715 in Deutschland im Auftrage des Landgrafen **Karl** aufgestellte befand sich in Kassel, wo ihr Cylinder noch vorhanden ist.

Obwohl die Ansichten **Papins** und **Leibnizens** über die Wirkung des Wasserdampfes durchaus sachgemäss gewesen waren, war ihnen sein eigentliches Wesen doch noch unbekannt geblieben. Aber es war auch noch nicht dreissig Jahre her, dass **Boyle** die Beziehung zwischen den Volumina einer Gasmenge und den zugehörigen Drucken bei ungeänderten Temperaturen gefunden hatte und so wenig bekannt war das sie gebende Gesetz geworden, dass es 1679 der Pariser Akademiker **Mariotte** (gest. 1684) noch einmal entdecken musste. Das Gesetz wiederum, welches die Abhängigkeit eines Gasvolumens von seiner Temperatur giebt, wenn der Druck der nämliche bleibt, hatte zwar Mariottes Kollege **Amontons** (1663—1705) im Jahre 1703 gefunden, seine Untersuchungen aber blieben so völlig unbeachtet, dass man jetzt diesen wichtigen Satz nach **Gay-Lussac** nennt, obwohl dieser die Entdeckung desselben **Charles** zuschrieb.

Sehr mit Unrecht erregten **Mariottes** Untersuchungen viel mehr Aufsehen, als die viel wichtigeren von **Amontons.** Abgesehen von den Entdeckungen, dass die Eintrittstelle des Sehnerven im Auge blind ist, und dass das Glas strahlende Wärme nicht durchlässt, waren seine übrigen Arbeiten auf weitere Ausbildung bereits vorhandener Kenntnisse gerichtet. So konstruierte er eine Maschine zum Nachweis der Stossgesetze, namentlich in Vorlesungen, berichtigte **Galileis** Untersuchungen über die Festigkeit, bildete die Theorie der Höfe um Mond und Sonne weiter aus und wandte sich, freilich ohne Erfolg, gegen **Newtons** Farbenlehre.

**Amontons** ging dagegen von Arbeiten aus, deren Zweck die so notwendige Verbesserung der Thermometer war. Man glaubte damals wohl allgemein die Wärme an ein sehr feines Fluidum, an den Äther, gebunden. Während aber die Chemiker, wie **van Helmont** und der Leidener Professor **Boerhave** (1668—1738), dieses Fluidum mit der Wärme identifizierten, waren die Physiker und an ihrer Spitze **Newton** der Ansicht, dass sie nur eine schwingende Bewegung desselben sei. **Amontons** ging weiter; er nahm an, dass die bewegten Ätherteilchen einen Teil ihrer Bewegung an die Körperteilchen abgäben und auch diese in Wärmeschwingungen versetzten und dass demnach die äusserste Kälte, die ein Thermometer angeben könne, diejenige sei, bei welcher die Luftteilchen nicht mehr in Bewegung gesetzt würden, also keinen Druck mehr ausübten. Diese müsse naturgemäss die Temperatur sein, von der die Angaben der Thermometer gerechnet werden müssten, und es handelte sich nur noch darum sie zu bestimmen. Dazu benutzte **Amontons** ein verbessertes

Luftthermometer, welches aus einem **U**förmig gebogenen Glasrohr mit offenem langen und in eine geschlossene Kugel endigendem kurzen Schenkel bestand. Indem er das Volumen der in der Kugel abgesperrten Luft bei sich ändernder Temperatur durch entsprechende Höhenänderung der Quecksilbersäule im langen Schenkel konstant hielt, konnte er aus der Länge dieser Säule die Temperatur bestimmen, wobei freilich der Barometerstand berücksichtigt werden musste. Diesen aber glaubte **Amontons** konstant zu 28 Zoll annehmen zu dürfen und er bestimmte so den absoluten Nullpunkt, wie wir diese niedrigste Temperatur nennen, zu —239.5° auf unsere hundertteilige Skala umgerechnet, statt des jetzt angenommenen Wertes von —272.8°. Der Grund dieser geringen Übereinstimmung ist darauf zurückzuführen, dass **Amontons** die Änderungen des Luftdruckes nicht berücksichtigte. Bedenken wir, dass das Luftthermometer, welches er angab, mit nur grössere Bequemlichkeit in seiner Handhabung bewirkenden Veränderungen auch heute noch immer angewendet wird, wo es sich um die genauesten Temperaturbestimmungen handelt, so beweist uns diese Sorglosigkeit in der Behandlung der Angaben eines das Resultat dieser Versuche so wesentlich beeinflussenden Faktors, dass die Wichtigkeit des Boyleschen Gesetzes trotz der Arbeiten **Mariottes** damals noch nicht verstanden war. Auch spricht die Thatsache, dass **Amontons** die Möglichkeit des Perpetuum mobile annahm, nicht für ein tieferes Verständnis der wissenschaftlichen Fragen einer Zeit, in der **Papin** und **Leibniz** jene nie zur Ruhe kommende Maschine verwarfen, und in der letzterer das Prinzip von der Erhaltung der Kraft bereits ausgesprochen hatte.

Das Florentiner Thermometer konnte **Amontons'** Apparat nicht ersetzen, aber er konnte zur Prüfung von Thermometern dienen, die freilich dazu vergleichbare Skalen haben mussten. Diese Aufgabe aber schien von ihrer Lösung noch weit entfernt. Italienische Händler brachten die in Gebrauch kommenden Thermometer zu Markte, aber ihre Ware war nach des Hallenser Professor **Wolff** (1679—1754) Zeugnis im höchsten Grade unzuverlässig und wenig brauchbar. Denn trotz allen eifrigen Suchens war es noch nicht gelungen, einen zweiten festen Punkt der Skala zu finden. Die von **Dalencé** zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Temperaturen, die Temperatur schmelzender Butter oder tiefer Keller als obersten, die Lufttemperatur, bei der das Wasser friert oder die Temperatur eines Gemisches von Wasser und Kochsalz als untersten Skalenpunkt, erwiesen sich als nicht brauchbar und wenn auch **Newton, Renaldini** und der Königliche Astronom Grossbritanniens **Halley** (1656—1724) die Siedetemperatur des Wassers als konstanten Punkt angaben, so können ihre Beobachtungen doch nicht sehr genaue gewesen sein, da ihnen die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdruck entging.

Diese Abhängigkeit gefunden und durch Schaffung eines zweiten festen Punktes der Skala die Thermometrie in neue Bahnen gelenkt zu haben, ist das Verdienst des Danzigers **Fahrenheit** (1686—1736), der den grössten Teil seines Lebens in Amsterdam verbrachte. Ehe dieser geschickte Glasbläser den Siedepunkt des Wassers als festen Punkt benutzen konnte, nahm er als solche die Temperatur einer Mischung von gestossenem Eis, Wasser und Salmiak und die Körperwärme eines gesunden Menschen. Von diesen Punkten hat er seine

Gradeinteilung hergenommen. Seit seiner 1714 gemachten Entdeckung hat er höchst wahrscheinlich die früheren Ausgangspunkte seiner Skala durch den Schmelzpunkt des Eises und den Siedepunkt des Wassers ersetzt. Als thermometrische Substanz benutzte er anfangs Alkohol, von 1720 an das schon 1688 wenigstens bedingt von **Halley** empfohlene Quecksilber. Dass er dasselbe rein herstellen konnte, beweisen zwei von ihm herrührende sehr schöne Thermometer, die das physikalische Kabinett in Leiden besitzt. Auch sprach sich **Wolff** sehr zufrieden über die Thermometer aus, welche er in der Folge von **Fahrenheit** bezog.

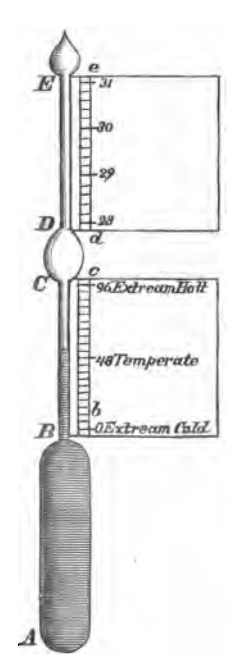



Fig. 48.

Wurde somit die Aufgabe, mit Hilfe des mit dem Barometerstand veränderlichen Siedepunkts des Wassers einen festen Punkt der Thermometerskala zu gewinnen, von letztgenanntem Forscher in nutzbringendster Weise gelöst, so gilt dasselbe von dem umgekehrten Problem, aus dem an seinem Thermometer beobachteten Siedepunkt den Barometerstand zu erhalten. Dazu stellte **Fahrenheit** das in Fig. 48 abgebildete Thermobarometer her, ein Thermometer mit sehr grossem Gefäss, dessen Röhre in der Mitte zu einer Kugel erweitert ist. Unterhalb derselben sind die Temperaturgrade von 0 bis 96, oberhalb

die zu den entsprechenden Siedetemperaturen gehörigen Barometerstände in Zollen aufgetragen.

Seine grosse Kunst in der Herstellung gläserner Instrumente setzte ihn auch in den Stand, dem bis dahin üblichen Aräometer zweckmässigere Formen zu geben. Namentlich verdanken wir ihm das in Fig. 49 hergestellte Gewichtsaräometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten, welches oben ein Tellerchen *c* zur Aufnahme der Gewichte, unten eine mit Quecksilber gefüllte Glaskugel *b*, am Halse eine Marke *a* trägt. Da es aber nicht leicht ist, zu sehen, ob der Wasserspiegel genau an der Marke steht, so gab dem Aräometer der Petersburger Akademiker **Leutmann** (1667—1736) die Form, welche Fig. 50 zeigt. In das offene Rohr mussten so lange Gewichte geworfen werden, bis die nach unten gerichtete Glasspitze das Wasser gerade berührte. Auch ein Pyknometer stellte **Fahrenheit** her. Es war ein Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel, in dem sich aber der Stand der Flüssigkeit sehr genau nicht beobachten liess. Deshalb fügte der Pariser Akademiker **Homberg** (1652—1715) 1699 dem Apparat das seitliche Haarrohr an, welches gerade bis zu seiner Spitze mit Flüssigkeit gefüllt sein musste, ehe man das Gewicht des Fläschchens bestimmte.

Fig. 49.

Fig. 50.

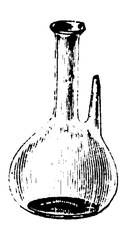


Fig. 51.

So gab er dem Apparat die Form, in der wir ihn auch heute noch benutzen.

Wir haben mehrfach Gelegenheit gehabt, den Sekretär der Royal Society **Hooke** zu erwähnen. Derselbe ist den grössten Naturforschern zugezählt oder ziemlich geringschätzig behandelt worden, jenachdem man seine Ansprüche, die er auf so gut wie alle Erfindungen seiner Zeit machte, als berechtigte anerkannte oder nicht. Aber diese Ansprüche erhob er immer erst, wenn die Erfindung bereits vorhanden war, meist auf Grund von nicht veröffentlichten Arbeiten und Ideen, und so haben die vielen Streitigkeiten, in die er sich auf solche Weise verwickelte, selten einen günstigen Ausgang für ihn genommen. Um nur eine derselben zu erwähnen, so hatte er die Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen des Danziger Ratsherrn und Astronomen **Hevel** (**Hewelcke**, 1611—87) angezweifelt, da dieselben ohne Fernrohr gemacht seien. **Hevel**, der um seiner Beobachtungen und namentlich der von ihm in selbstgestochenen Kupfern herausgegebenen Mondkarte willen wohlverdienten Ruhm genoss, antwortete sehr gereizt und die Royal Society schickte, um den Streit zu schlichten, **Halley** nach Danzig. Der königliche Astronom hatte aber allen Grund, über die Genauigkeit, mit der **Hevel** beobachtet hatte, zu erstaunen. Wichen doch seine mit dem Diopter erhaltenen Sternpositionen von denen, die **Halley** gleichzeitig mit dem Fernrohr beobachtete, meist nur um wenige Sekunden ab. Auch der Apparat, der **Hookes** Namen bis zum heutigen Tag bewahrt hat, der Hookesche Schlüssel, ist nicht

seine Idee, sondern wie wir sahen nur eine Abänderung der Cardanischen Aufhängung.

## Das achtzehnte Jahrhundert.

Von den grossen Genien des 17. Jahrhunderts ist keiner so gefeiert worden, wie **Newton**. Die grossartigen Folgerungen, die sich aus seinem Gravitationsgesetz ergaben, hatten die wissenschaftliche Welt geblendet, der daraus entspringenden Überschätzung seiner Leistungen kamen aber auch politische Momente entgegen. England und Frankreich waren damals die einzigen mächtigen und ausschlaggebenden Staaten Europas. Das letztere aber hatte seit der Aufhebung des Ediktes von Nantes keinen einem **Newton** ebenbürtigen Geist mehr aufzuweisen. Beiden gegenüber befanden sich das kleine Holland, das unglückliche Deutschland, das der dreissigjährige Krieg an den Rand des völligen Unterganges gebracht hatte, in völliger Ohnmacht. Nur schwer fanden deutsche Forscher Unterstützung und Rückhalt. Als **Newton** beerdigt wurde, hielten Herzöge die Zipfel des Sargtuches, **Leibnizens** sterbliche Reste begleitete ein einziger Verehrer, der noch dazu zufällig in Hannover anwesend war, zur Gruft. So war denn alles dazu angethan, **Newtons** Einfluss auf die Naturwissenschaft des 18. Jahrhunderts übermächtig werden zu lassen, vielfach leider auf Kosten der gedeihlichen und freien Weiterentwickelung derselben.

Und doch standen ihr hierzu weitaus bessere Mittel zu Gebote, als im Zeitalter der grossen Entdeckungen. Es waren mechanische Werkstätten gegründet, die die

Herstellung von Wagen, Luftpumpen und Fernrohren, bald auch der verschiedensten Messinstrumente übernahmen. Eine der ältesten derselben ist die von **Samuel Musschenbroek** (geb. 1639) in Leiden, die sein Sohn (1660—1707) und sein Enkel **Jan** (1687—1748) fortführten. Neben den genannten Apparaten stellte Samuels Enkel **Jan** namentlich die Apparate des Leidener Professors der Physik **'s Gravesande** (1688—1742) her und wertvoll wurde ihm die Unterstützung seines jüngern Bruders **Pieter** (1692—1761), der als Nachfolger **'s Gravesandes** vortreffliche Lehrbücher der Physik verfasste. Auch die Apparate des Leipziger Mechanikers **Leupold** (1674—1727) waren mit Recht berühmt, während etwas später die Augsburger **Brander** (1713—83) und sein Schwiegersohn **Höschel,** ferner **Willebrand** (um 1720) und andere den alten Ruhm ihrer Vaterstadt in Werken der mechanischen Kunst erneuerten. Auch ausserhalb Deutschlands fehlte es nicht an geschickten Mechanikern. Den bereits mehrfach erwähnten Optikern **Divini** und **Campani** gesellten sich in London **Graham** (1675—1751), **Short** (1710—68) und **Bird** (1709—67) als Verfertiger astronomischer Instrumente zu, während in Paris **Chapotot** (um 1680), **Butterfield** (gest. 1724) und **Bion** (1683 bis etwa 1733) Ruf in der Herstellung mathematischer Werkzeuge erlangten. Wie **Campani, Leupold, Bion** auch als wissenschaftliche Schriftsteller auftraten, so vereinigte der Goudaer **Hartsoeker** (1656—1725) die nämliche Thätigkeit mit der des Kaufmanns und Fabrikanten. Er lieferte grosse Linsen zu Luftfernrohren, aber auch Magnete, von denen kräftige natürliche tausende von Gulden kosteten.

Die Brauchbarkeit des Kepplerschen Fernrohrs für astronomische Messungen wurde nun erst von grösstem Nutzen. In das im Brennpunkt entworfene Bild hatte schon **Huygens** ein Mikrometer gelegt. Seit 1667 brachte man nach **Picards** und **Auzouts** (gest. 1691) Vorgang ein Kreuz von Drähten oder Seidenfäden an, das 1755 durch die jetzt noch üblichen Spinnefäden ersetzt wurde. Auch die Teilungen waren verbessert und mit Vorrichtungen zu genauem Ablesen versehen. Für diesen Zweck hatte schon 1542 der Professor der Mathematik in Coimbra **Nuñez** (**Nonius**, 1492—1577) einen Vorschlag gemacht, der sich aber als praktisch undurchführbar erwies, so dass **Tycho Brahe** sich statt dessen lieber einer Transversaleinteilung bediente. Die jetzt an keinem Messinstrument fehlende Einrichtung zur Ablesung von Bruchteilen der aufgetragenen Teilung führte der Kommandant des Schlosses Ornans **Vernier** (1580—1637) ein, die demnach fälschlich Nonius genannt wird. Die von **Thévenot** erfundene Libelle (Niveau) wurde mit dem Fernrohr verbunden, das somit nun auch zum Nivellieren geschickt wurde, zu welchem Zwecke **Huygens** und **Picard** die Pendelniveaus benutzt hatten, Fernrohre, die nach Art eines Pendels aufgehängt waren. Auch die längst im Gebrauch befindlichen Sextanten, Oktanten und Quadranten wurden mit Fernrohren versehen und ihnen fügte der Londoner Instrumentenverfertiger **Hadley** (gest. 1744) den Spiegelsextanten hinzu, der für die Seefahrt von hervorragender Bedeutung werden sollte. Dem Theodoliten begegnen wir erst Mitte des 18. Jahrhunderts. Den wichtigsten physikalischen Messapparat, das Kathetometer, hat dagegen der Londoner Akademiker **Gray** (gest.

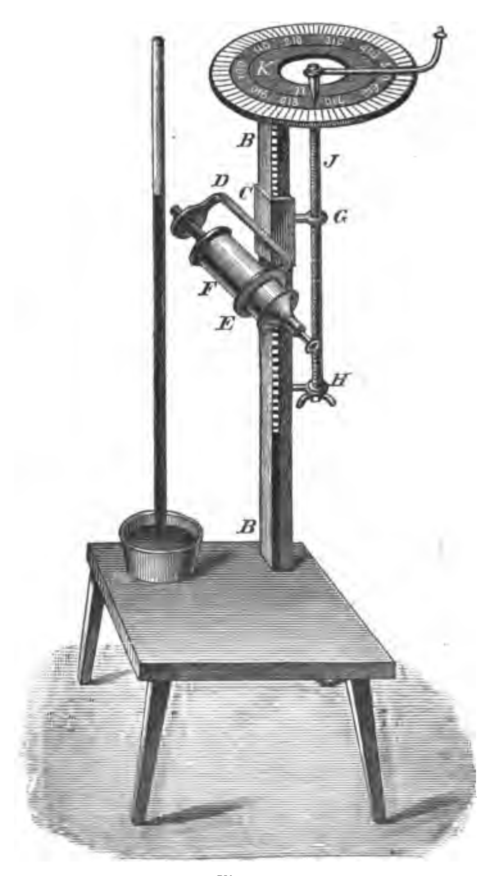



Fig. 52.

1736) konstruiert, um senkrechte Höhenabstände, namentlich die von Quecksilberoberflächen, abzulesen. Wie seine Abbildung Fig. 52 zeigt, bestand er aus einem an senk-

rechtem Massstab verschiebbaren Mikroskop. Später wurde statt dessen ein Fernrohr genommen.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der Fortschritte der Wissenschaft selbst, so war es vor allen Dingen die analytische Mechanik, welche in raschem Fortschreiten blieb. Der Sohn **Johann Bernoullis Daniel** (1700—82) und namentlich der Petersburger und nachher Berliner Akademiker **Euler** (1707—83), den seine Erblindung vom Arbeiten nicht zurückhielt, stellten neue Prinzipien auf und befestigten die bereits erkannten. **Euler** gab damals die erste Zusammenstellung der Lehren der analytischen Mechanik, und während die Zeitgenossen der Newtonschen Emissionstheorie des Lichtes anhingen, verteidigte er allein die es als Wellenbewegung auffassende Ansicht. Neben ihm förderten **Clairaut** (1713—65), **d'Alembert** (1717—83) und **Lagrange** (1736—1813) die Mechanik, bis **Laplace** (1749—1827) in seiner Mécanique céleste die Bewegung der Himmelskörper vollständig aus ihr ableitete. In diesem berühmten Werke entwickelte er seine Ansicht über die Art, wie das Planetensystem aus einem mit anziehenden Kräften ausgestatteten in Rotation begriffenen Urnebel entstanden sein könne und kam dabei zu denselben Resultaten, wie sie 1755 der Königsberger Philosoph **Kant** (1724—1804) vorgetragen hatte, ohne jedoch in die Fehler zu fallen, die dieser nicht vermieden hatte.

Mit Hilfe der vervollkommneten Instrumente suchten die Astronomen die Richtigkeit des bereits von **Coppernicus** ausgesprochenen Gedankens zu prüfen, dass die Sterne infolge der Bewegung der Erde eine scheinbare Bewegung zeigen müssten. Dem spätern Lord der Admiralität

**Molyneux** (1689—1728) gelang es zuerst, diese Bewegung zu konstatieren, als er einen Grahamschen Sektor verwenden konnte, der bis auf 1″ genaue Ablesungen zu machen gestattete. Er fand eine jährliche Abweichung der Fixsterne von ihrem Ort, welche 40′ betrug. Seine Beobachtungen bestätigte der königliche Astronom in Greenwich **Bradley** (1692—1762) mit einem noch grössern Sektor desselben Künstlers, er fand aber ferner, dass diese Bewegung alle Sterne in einem Jahre ausführten, jedoch nicht in dem Sinn, wie ihn **Coppernicus'** Idee gefordert hatte. Als Ursache dieser von **Bradley** Aberration der Fixsterne genannten Erscheinung ergab sich vielmehr die Zusammenwirkung der Lichtbewegung und der Bewegung der Erde. Wie ein im Regen Laufender ein Rohr, das er in der Hand hält, nach der Richtung seiner Bewegung neigen muss, wenn ein in der Mittellinie des Rohres eintretender Tropfen es in derselben durchfallen soll, so muss der Astronom, der den von einem Stern ausgehenden Lichtstrahl durch die Achse seines Fernrohres hindurchleiten will, dieses in der Bewegungsrichtung der Erde vorbeugen, wenn nicht der Stern in der Verlängerung dieser Richtung liegt. **Bradley** zeigte, dass es möglich sei, aus der Messung der Winkelgrösse dieser scheinbaren Bahn eines Fixsternes die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen, und er erhielt in schöner Übereinstimmung mit **Römers** Zahl den Wert von 41 500 Meilen.

Die Thermometrie bearbeitete seit 1730 der Zoologe **Réaumur** (1683—1757), aber leider beachteten seine Anordnungen die von **Fahrenheit** gemachten grossen Fortschritte nicht. Seiner stärkern Ausdehnung wegen nahm **Réaumur** wieder Alkohol als thermometrische

[illegible] zu haben glaubte, dass sich [illegible] vom Eispunkt bis zum [illegible] seines ursprünglichen [illegible] den Abstand zwischen [illegible] müssen. Auf sichere [illegible] allerdings nicht. Denn [illegible] viel tiefer, als der [illegible] Weingeist, dem [illegible] seines [illegible] war, auch vertauschte er den [illegible] des Eises mit dem Gefrier- [illegible] Temperatur veränderlich ist. [illegible] Bestimmung der End- [illegible] **Réaumur**schen Skala bestehen liess, erschöpfte [illegible] die Einteilung und Be- [illegible] Nur einer dieser Vor- [illegible] Professor **Celsius** (1701—44) [illegible] in veränderter Form zu dauernder [illegible] der Vorschlag, den Abstand zwischen Siedepunkt und Eispunkt in 100 Teile zu teilen. Aber die **Celsius**sche Skala ist doch nicht unsere hundertteilige; denn **Celsius** bezeichnete den Siedepunkt mit 0 und den Eispunkt mit 100 und erst sein Kollege **Strömer** (1707—70) führte die jetzt übliche Bezeichnung ein. Der Alkohol aber behauptete sich als thermometrische Substanz, da ihn auch der Abt **Nollet** (1700—70), der durch Wort und Schrift viel zur Verbreitung der Wissenschaft in weitere Kreise beitrug, annahm, und so waren fast *nur* Rückschritte gegen **Fahrenheit** aufzuweisen, bis der ab- [illegible] in London, Berlin, Hannover und Braunschweig [illegible] Genfer **Deluc** (1727—1817) 1772 das Quecksilber

wieder einführte und dadurch den Siedepunkt festzulegen vermochte, den er bei einem nach **Réaumurs** Vorschlag hergestellten, aber mit dem richtigen Siedepunkt versehenen Thermometer auf 64.3 beobachtete. So ist die mit **Réaumurs** Namen versehene Skala eigentlich die Delucsche, die nach **Celsius** benannte die Strömersche.

Hatte somit **Deluc** die durch **Fahrenheit** gemachten Fortschritte in der Thermometrie mit Erfolg gesichert, so suchte der Oberbaurat **Friedrichs des Grossen Lambert** (1728—77), allerdings ohne damit durchzudringen, den Anschauungen **Amontons'** Anerkennung zu verschaffen. Er schlug vor, eine Skala einzuführen, deren Nullpunkt der absolute Nullpunkt, nach seiner Definition die Temperatur, bei welcher die Luftteilchen in unmittelbare Berührung kommen, sei, und indem er die sehr nahe zutreffende Annahme machte, dass die Ausdehnung der Luft im Verhältnis der zugeführten Wärmemengen erfolge, fand er, dass von seinem Nullpunkt bis zum Siedepunkt 1370 Teile genommen werden müssten, wenn man bis zum Eispunkt deren 1000 annähme.

Der Grund dafür, dass **Lamberts** schöne Arbeit unbeachtet blieb, lag mehr in der ausschliesslichen Anwendung der Flüssigkeitsthermometer, als in dem damaligen Zustande der Wärmelehre. Die Ansicht, der auch **Boyle** huldigte, dass die Wärme ein wägbarer Stoff sei, war zu immer allgemeinerer Geltung gekommen, namentlich seitdem der Hallenser Professor und spätere Leibarzt des Königs von Preussen **Stahl** (1660—1734) seinem Lehrer **Becher** (1635—82) folgend die Verbrennung als eine Verbindung mit dem Phlogiston erklärt hatte, dem

Prinzip des Brennbarseins, das als Feuer oder in nahezu reinem Zustande als Russ abgeschieden werden kann. Zwar hatte **Lavoisier**, der, 1743 geboren, 1768 zum Generalpächter der Steuern ernannt, 1794 sein Leben unter der Guillotine endete, die Phlogistontheorie über den Haufen geworfen, indem er die Verbrennung in der Luft als eine Verbindung mit dem kurz vorher unabhängig von einander durch **Pristley** (1733—1804) und **Scheele** (1742—86) entdeckten Sauerstoff nachwies und eine auf quantitativen Bestimmungen beruhende Theorie der Verbrennung aufstellte, von der die moderne Chemie ihren Ausgangspunkt nahm. Wenn er nun auch die Wärme für das Resultat der unsichtbaren Bewegungen der Moleküle erklärte, so hielt er sie doch nicht für eine Art der Bewegung. Denn alsdann hätte er schliessen müssen, dass diese Bewegung bei dem wärmeren Körper stärker sei, während er vielmehr die Erwärmung für eine Aufnahme von mehr Wärmestoff hielt. Wenn er diesen Stoff für gewichtlos ansah, so lag darin kein Widerspruch; der damalige Erlanger, später Göttinger Professor **Tobias Mayer** (1752—1830) hatte vielmehr mit Recht darauf aufmerksam gemacht, dass man nur im wärmeleeren Raum sein Gewicht würde bestimmen können. **Lavoisier** suchte dann in Gemeinschaft mit **Laplace** die Wärmekapazitäten der verschiedenen Körper, also die Wärmemengen, welche die Gewichtseinheit derselben um 1° erwärmen, mit Hilfe der im Eiskalorimeter geschmolzenen Menge Wasser zu bestimmen. Weiter stellten beide Forscher Versuche an über die Ausdehnung durch die Wärme, während **Laplace** allein die Kapillarität zum

Gegenstand einer sorgfältigen Arbeit machte. So wurden am Schluss des 18. Jahrhunderts Wärme und Licht allgemein für Stoffe gehalten.

Die Dampfmaschine hatte die ihr von **New-Comen** gegebene Form 50 Jahre hindurch behalten. Seit dem Jahre 1765 begannen die Arbeiten des Glasgower Universitätsmechanikus **Watt** (1736—1819), welche sie in einer Weise vervollkommneten, dass sie nun in kurzer Zeit zu technischer Verwendung im grossen Massstabe fähig wurde. **Watt** trennte den Kondensator vom Dampfcylinder, liess den Dampf auf beiden Seiten des Kolbens wirken, ermöglichte durch Anbringung der Kurbel die Verwandlung ihrer hin- und hergehenden Bewegung in eine rotierende, machte durch Verwendung des Huygensschen konischen Pendels ihre Bewegung regelmässiger, und fügte die unter dem Namen des Wattschen Parallelogrammes bekannt gewordene Geradführung und den Indikator ein. Die neue Maschine fand zunächst die vorteilhafteste Verwendung zur Wasserbewältigung in Bergwerken, und diesem Zweck diente auch die erste in Deutschland in dauernden Betrieb genommene, die auf Spezialbefehl **Friedrichs II.** 1785 in Hettstedt im Mansfeldischen aufgestellt wurde. Das volle Verständnis der Wichtigkeit des neuen Apparates bewies der grosse König dadurch, dass er seine Kosten aus dem Meliorationsfond seines Landes bestreiten liess. Als Motor für Schiffe hatte sie bereits 1775 der Pariser Mechaniker **Périer** (1742—1818) zu benutzen versucht. Aber erst 1807 kam ein von dem Amerikaner **Fulton** (1765—1815) erbautes Dampfschiff auf dem Hudson in regelmässigen Betrieb, während die Herstellung der

ersten wirklich brauchbaren Lokomotive noch weitere 23 Jahre auf sich warten lies.

Die bis zu den dreissiger Jahren des vorigen Jahrhunderts vorhandenen Meridiangradmessungen hatten ergeben, dass diese Grade nach den Polen hin kleiner werden, während nach **Huygens'** und **Newtons** Annahme der Abplattung das Gegenteil hätte stattfinden müssen. Um den darüber entstandenen Streit zu schlichten, veranlasste die Pariser Akademie eine möglichst sorgfältige Gradmessung in der Nähe des Äquators in Peru. Unter Führung des Pariser Professors **Bouguer** (1698—1758) und des Akademikers **de la Condamine** (1701—44), der Erfahrungen auf einer wissenschaftlichen Reise an der nordafrikanischen Küste und in die Levante bereits gesammelt hatte, brach 1735 die mit der Aufgabe betraute Expedition auf, ihre Führer entzweiten sich aber und kamen nach etwa zehnjähriger Abwesenheit, jeder für sich, in Europa wieder an. In der Zwischenzeit hatte sich der damalige Pariser Akademiker **Maupertuis** (1698—1795) 1736 zu demselben Zwecke nach Lappland schicken lassen; die Resultate, die beide Expeditionen mitbrachten, bestätigten die Annahme von **Huygens** und **Newton.** Von den sorgfältig gearbeiteten Massstäben von einer Toise = 6 Pariser Fuss Länge, die ihnen mitgegeben waren, brachte nur die peruanische Expedition den ihrigen wieder mit und die an die Grösse des Erdkörpers angeschlossene Toise von Peru wurde seitdem ausschliesslich zu den wissenschaftlichen Messungen am Erdkörper benutzt.

Solche wurden aber bald von neuem nötig, als man in Frankreich daran ging, ein einheitliches Mass und

Gewicht einzuführen. Nicht nur hier, sondern namentlich auch in Deutschland war dies allerdings ein unabweisbares Bedürfnis geworden. Bei uns hatte damals jedes Land, ja jede grössere Stadt ihre besonderen Masse, der Vorteil aber, der darin lag, dass die Gewichte einzelner Städte wie Kölns und Nürnbergs auch ausserhalb deren Weichbild Geltung hatten, wurde dadurch reichlich aufgewogen, dass jedes Gewerk mit besonderm Masse arbeitete. Um den ebenso unerträglichen Verhältnissen in Frankreich abzuhelfen, hatten sich kurz vor dem Ausbruch der Revolution die namhaftesten französischen Städte an den König gewandt und um Einführung einheitlicher Masse gebeten. Die erste Republik löste das vom König gegebene Versprechen ein, die Pariser Akademie verwarf aber die als Einheit vorgeschlagene Länge des Sekundenpendels in der Breite von 45° und wählte als solche den zehnmillionten Teil des Erdmeridianquadranten.

Diesen neu zu messen trug man dem Astronomen der Marine **Méchain** (1744—1804) und dem Professor der Astronomie am Collège de France **Delambre** (1749—1822) auf, die unter Benutzung der früheren Messungen **Picards** den Meridian von Dünkirchen bis Perpignan messen sollten. Die zur Basismessung notwendigen Apparate verbesserte der frühere Seekapitän, damalige Akademiker **Borda** (1733—99) dahin, dass die Ausdehnung der zu ihrer Bestimmung dienenden Massstäbe berücksichtigt werden konnte. Auch schloss er durch eine höchst sorgfältige neue Bestimmung des Sekundenpendels in der Breite von Paris die Länge desselben an das neue Mass an. Da es sich aber als unmöglich erwies,

die Gradmessung so rasch zu beendigen, als es für die Einführung des neuen Masses erwünscht schien, so führte man 1793 eine provisorische Längeneinheit, die man Meter nannte, ein und ersetzte dieses 1799 durch das endgültige Mass.

Bei demselben war die Dezimalteilung streng durchgeführt; die Unterabteilungen wurden mit Hilfe der lateinischen Zahlwörter als Dezimeter, Centimeter und Millimeter, die Summen von 10, 100 u. s. w. Metern mit den griechischen als Dekameter, Hektometer, Kilometer (eigentlich Chiliometer) und Myriometer bezeichnet und entsprechend mit dem Flächen- und Raummass verfahren. Als Gewichtseinheit nahm man das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser von grösster Dichte, das Gramm, und verfuhr mit Einteilung und Bezeichnung, wie beim Meter. Indessen ergab sich später, dass die Messungen, mit deren Hilfe die Länge des Meters erhalten worden war, mit einem Fehler behaftet waren und dass demnach die Länge des Meters nur als die des in Paris aufbewahrten Urmasses definiert werden darf. Doch hatten diese Messungen das Resultat ergeben, dass die Gestalt der Erde nicht so regelmässig ist, als man erwartet hatte.

Als **Bouguer** seinen Aufenthalt in Peru dazu benutzte, die Länge des Sekundenpendels zu bestimmen, beobachtete er, dass dasselbe in der Nähe des Chimborazo von der Lotrechten abwich. Man schrieb dies der anziehenden Wirkung der Masse des Berges zu und es schien möglich, durch Messung der Abweichung des Pendels in der Nähe eines massigen Berges einen Schluss auf die Dichtigkeit der Erde zu ziehen. Deshalb wiederholten der Professor

der Mathematik in Woolwich **Hutton** (1737—1823) und der königliche Astronom in Greenwich **Maskelyne** (1732—1811) die Versuche **Bouguers** am Shehallian in Schottland. Unter einigen allerdings ziemlich willkürlichen Voraussetzungen erhielten sie die Dichtigkeit der Erde 4.48 mal so gross, als die des Wassers, während sie **Newton** zu etwa 5 berechnet hatte. 1798 bestimmte denselben Wert das Mitglied der Royal Society **Cavendish** (1731—1810), der Entdecker des Wasserstoffs, mit Hilfe eines zwischen mächtigen Bleikugeln schwingenden Horizontalpendels zu 5.48.

Das Wasserstoffgas war berufen, bald nach seiner Entdeckung eine wichtige, aller Augen auf sich ziehende Rolle zu spielen, indem es zum Füllen des Luftballons benutzt wurde. Der Wunsch, einen solchen zu besitzen, war nicht neu, und das Mittel, ihn zu verwirklichen, indem man einen geschlossenen Ballon mit dünnerer und also leichterer Luft füllte, bereits im 17. Jahrhundert aus dem Archimedischen Prinzip gefolgert. Aber die Ausführung bot ihre grossen Schwierigkeiten. Ehe man den Wasserstoff kannte war das einzige Mittel, leichtere Luft zu erhalten, das, sie zu erwärmen, und dies soll bereits am Anfange des 18. Jahrhunderts von dem Pater **Guzman** (1685—1724) in Lissabon zur Herstellung eines Luftballons mit Erfolg angewendet sein. Nur das von der Inquisition ausgegangene Verbot weiterer Versuche habe damals, wie erzählt wird, solche verhindert. So blieb die Menschheit an den Boden gebannt, bis die Brüder **Joseph Michel Montgolfier** (1740—1810) und **Jacques Etienne Montgolfier** (1745—99), die beide Naturwissenschaften studiert,

dann aber die väterliche Papierfabrik in Annonay übernommen hatten, die Versuche **Guzmans** wieder aufnahmen und am 5. Juni 1783 die erste grosse „Montgolfière“ steigen liessen, einen aus Taffet verfertigten Ballon, in dessen unterer Öffnung ein Holzfeuer brannte. Das grosse Aufsehen, das diese Versuche erregten, brachte den Pariser Gelehrten **Charles** (1746—1823) auf den Gedanken, den Ballon mit Wasserstoff zu füllen, und nachdem er die grossen Schwierigkeiten überwunden hatte, die in der Herstellung einer leichten wasserstoffdichten Hülle lagen, konnte er am 27. August 1783 nun auch die erste „Charlière“ den Weg zum Himmel nehmen lassen. Weitere Versuche zeigten, dass es sehr wohl für Menschen möglich sein würde, sich mit dem Ballon in die Lüfte zu erheben und so gestattete **Ludwig XVIII.** dem Intendanten seines naturwissenschaftlichen Kabinetts **Pilâtre de Rozier** (1756—85) und dem **Marquis d'Arlande**, am 21. Oktober 1783 in einer Montgolfière aufzusteigen. Der gute Ausgang dieser Fahrt liess **Charles** auf das gleiche Wagnis denken; er machte in einer von den Mechanikern **Robert** hergestellten Charlière mit denselben seine erste Auffahrt am 1. Dezember des nämlichen Jahres. Seitdem aber kamen solche Fahrten an die Tagesordnung. Anfangs nur Schaustellungen — bei dem Versuche über den Kanal zu fliegen verlor **Pilâtre de Rozier** sein Leben —, wurden sie bald Hilfsmittel der Wissenschaft, namentlich nachdem **Biot** und **Gay-Lussac** am 27. August 1804 ihre berühmte Auffahrt glücklich ausgeführt hatten.

Die gelungene Annäherung an den Himmel im Luftballon konnte die Erkenntnis der Himmelskörper freilich nicht

fördern. Solche Förderung war nur von der raumdurchdringenden Kraft der Fernrohre zu hoffen, deren Ausbildung aber durch **Newton** in einseitige Bahnen gedrängt worden war. Der Ansicht des grossen Briten hatte **Euler** widersprochen und die durch diesen Widerspruch angeregten theoretischen Untersuchungen des Upsalaer Professors **Klingenstjerna** (1698—1765) schien die Unrichtigkeit von **Newtons** Auseinandersetzungen zu beweisen. Dadurch angeregt, wiederholte der Besitzer einer optischen Werkstätte in London **John Dollond** (1706—61) die Versuche über die Farbenzerstreuung und fand, im Gegensatz zu **Newton**, dass sie für verschiedene Stoffe verschieden sei. Er schloss sogleich daraus, dass die Konstruktion eines achromatischen Prismas möglich sein müsse, das wohl Brechung aber nicht Farbenzerstreuung bewirke. Legt man nämlich nach Anleitung der Fig. 53 zwei Prismen aus Substanzen, die verschiedene Farbenzerstreuung zeigen, an einander, so können dieselben, wenn sie gleich lange Spektren geben sollen, nicht gleiche brechende Winkel haben, die Flächen, durch die der Strahl ein- und austritt, können sonach nicht parallel sein und es muss also das Prisma den Strahl ohne ihn zu färben ablenken. Damit war dann auch ohne weiteres die Konstruktion einer achromatischen Linse (Fig. 54) gegeben, die aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse von verschiedenem Zerstreuungsvermögen bestehen musste. Konnten aber achromatische Refraktoren

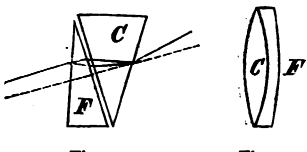


Fig. 53. Fig. 54.

hergestellt werden, so waren diese den Reflektoren für Messungen vorzuziehen, und so versorgte seit 1757 **John Dollonds** Werkstatt, der nach seinem Tode sein Sohn **Peter** (1730—1820) und sein Schwiegersohn **Ramsden** (1735—1800) vorstanden, für lange Jahre die Astronomie mit den zu ihren Messungen nötigen Instrumenten. Dadurch angeregt, untersuchten **Euler, Clairaut, d'Alembert** das Problem theoretisch, aber ihre Untersuchungen förderten die Arbeiten der ausübenden Künstler nicht, da sie Vernachlässigungen sich erlaubten, die sich für die praktische Ausführung als unstatthaft erwiesen.

Mit grossem Eifer nahmen sich die Forscher des 18. Jahrhunderts auch des bisher vernachlässigten Gebietes des Akustik an. Neben dem Privatmann **Brook Taylor** (1685—1731), der die Abhängigkeit der Tonhöhe von den Eigenschaften der Saiten feststellte, suchten **Joh. Bernoulli, d'Alembert, Euler** und **Lagrange** die Form zu ergründen, die sie schwingend annahmen. Der Lobensteiner Organist **Sorge** (1703—88) und der Violinvirtuose **Tartini** (1692—1770), fanden auf experimentellem Wege die Kombinationstöne, **Chladni** (1756—1827) endlich, der vom Ertrage seiner Schriften und Vorträge lebte, zeigte die Mannigfaltigkeit der Schwingungen auf, in die Saiten, Stäbe und Platten geraten können, und die Figuren, durch die auf Platten gestreuter Sand die in Ruhe bleibenden Teile derselben kennen lehrt, führen noch seinen Namen. Ihm gelang auch die Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in anderen Gasen, wie Luft, indem er mit ihnen gefüllte Orgelpfeifen tönen liess und die Höhe des entstehenden Tones bestimmte.

Beobachtungen und Versuche über Magnete wurden im Anschluss an **Gilberts** Arbeiten vorzugsweise in England gemacht. Als wichtige neue Kenntnisse kamen aber wohl nur die Methoden, Stahlstäbe durch besonderes Streichen mit Magneten magnetisch zu machen, zu den bereits vorhandenen hinzu. **Servington Savery, Michell** (gest. 1793), **Knight** (gest. 1772) gaben die Methoden des einfachen und doppelten Striches an, aber wesentliche Förderung erfuhr die Lehre des Magnetismus durch sie nicht.

Das wichtigste Arbeitsfeld des 18. Jahrhunderts ist das Gebiet der **Elektrizität** geworden. Ebenso wie man nach Erfindung der Luftpumpe das Verhalten aller möglichen Gegenstände unter dem Rezipienten geprüft hatte, machte man Versuche über Versuche mit der Reibungselektrizität und förderte so eine Menge neuer Thatsachen zutage, die erst nach und nach unter einheitliche Gesichtspunkte zusammengefasst wurden. Man untersuchte die Fähigkeit der Körper, beim Reiben mehr oder weniger elektrisch zu werden, die Elektrizität besser oder schlechter zu leiten, durch benachbarte influenziert zu werden u. s. w. Für uns genügt es hier auf die Wendepunkte in der Erhaltung und Deutung des Beobachtungsmaterials hinzudeuten.

Die elektrische Erscheinung, welche nach **Guerickes** Versuchen zuerst die Aufmerksamkeit auf sich zog, war, wenn wir von **Walls** undeutlicher Beschreibung der Wirkung eines stark elektrisierten Stückes Bernstein, die man als erste Beobachtung des elektrischen Funkens hat deuten wollen, absehen, die zufällig von **Picard** 1675 gemachte Beobachtung, dass der obere Teil des Queck-

silbers mancher Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn man es in senkrechte Schwingungen versetzt. Dass dies bei allen gut ausgekochten Barometern der Fall sei, teilte ein deutscher Glasbläser dem Pariser Akademiker **Dufay** (1698—1739) mit. **Dufay** folgerte aber daraus weder die Notwendigkeit dieser Manipulation für die Herstellung genauer Barometer — dies that erst 1762 **Deluc** —, noch konnte er sich von der Richtigkeit der Ansicht **Hawksbees** überzeugen, dass dies Leuchten elektrischer Natur sei. Und doch hat auch er eine grosse Menge Versuche über elektrische Anziehung und Abstossung angestellt, die ihn auf die Annahme zweier Elektrizitäten, der Glas- und der Harzelektrizität, geführt haben.

Als Erzeuger der Elektrizität dienten ihm und seinen Zeitgenossen Glasröhren, welche mit der Hand gerieben wurden. Der Versuch **Hawksbees**, die Wand einer rotierenden, leergepumpten Glaskugel durch Auflegen der Hand leuchtend zu machen, führte erst 1743 den Wittenberger Professor **Bose** (1710—61) darauf, die rotierende Kugel als Elektrisiermaschine zu benutzen. Auf sie durch eine Arbeit des Leipziger Professors **Hausen** (1693—1743) aufmerksam gemacht, verband er mit ihr zum ersten Male den Konduktor, eine Blechröhre, welche an seidenen Schnüren vor ihr aufgehängt wurde. Als dann **Hausens** Kollege **Winkler** (1703—70) seine Idee, die Hand durch ein gegen die Kugel gepresstes Kissen zu ersetzen, durch den Drechsler **Giessing** verwirklicht sah, ehe er sie diesem geschickten Arbeiter noch hatte mitteilen können, war die erste Maschine zu stande gebracht, die den Namen einer Elektrisiermaschine mit Recht trug. Ihre Wirkungen

verstärkte der Vorsteher einer Privatschule in London **Canton** (1718—72), später Mitglied der Royal Society, indem er das Reibzeug mit Amalgam überzog, und um der grössern Leichtigkeit der Herstellung willen ersetzte der Schweizer Seminardirektor **Planta** (1727—72) und unabhängig von ihm **Ramsden** die Kugel durch eine Scheibe. Eine solche Maschine stellte dann der Direktor von **Teylers** Museum in Haarlem **van Marum** (1750—1837) her und setzte alle Welt durch ihre mächtigen Wirkungen in Erstaunen. Um die Grösse der Ladung eines Konduktors beurteilen zu können, setzte 1772 der Londoner Leinwandhändler **Henley** (gest. um 1779) auf denselben einen Metallstab, an dessen oberen Ende ein leichtes Holzstäbchen, das eine Holundermarkkugel trug, um eine horizontale Achse drehbar aufgehängt war. Eine an dem Metallstab befestigte Viertelskreisskala liess den Winkel beobachten, um welchen das Holzstäbchen gehoben wurde und aus ihm auf die Grösse der Ladung des Konduktors schliessen. Die geringe Genauigkeit, die mit dem kleinen Apparat zu erreichen ist, rechtfertigt nicht seinen Namen Quadrantenelektrometer. Es war ein Elektroskop, wie dasjenige, welches **Canton** schon früher aus zwei Holundermarkkügelchen hergestellt hatte, die mittels zweier linnener Fäden an einem Metallhäkchen aufgehängt waren und, wie **Dufay** schon an zwei Fäden ohne Kügelchen beobachtet hatte, je nach der Grösse der Ladung mehr oder weniger von einander abgestossen einen grössern oder kleinern Winkel bildeten.

Die Bequemlichkeit, mit der man mittels der neuen Maschine Elektrizität erhalten konnte, wurde Ursache,

dass bald Fachmänner und Liebhaber in dem Anstellen elektrischer Versuche wetteiferten. So wollte 1745 der Kamminer Domherr **von Kleist,** wie es **Gray** auch schon gethan hatte, Wasser elektrisieren. Er steckte dazu einen eisernen Nagel in ein mit Wasser gefülltes Medizinglas, das er in der Hand hielt, liess den Funken vom Konduktor hineinschlagen und wollte dann den Nagel herausnehmen, erhielt aber dabei einen ungemein heftigen Schlag. Ohne von **Kleists** Beobachtungen zu wissen, machte kurz darauf ein Zuhörer des Professors **van Musschenbroek** in Leiden, **Cunaeus,** zu seinem grossen Schrecken denselben Versuch. **Musschenbroek** beschrieb die merkwürdige Entdeckung in einem Briefe an **Réaumur,** welcher sie dem Abt **Nollet** mitteilte. In seinen Schriften nannte **Nollet** den Apparat seitdem die Leidener Flasche, und diesen Namen hat sie behalten. Sie wurde sogleich ein viel benutztes neues Versuchsobjekt. Die Londoner Ärzte **Watson** (1715—87) und **Bevis** (1695—1771) kamen zwar darauf, das Wasser und die Hand durch zwei Belege von Zinnfolie zu ersetzen, aber die Erklärung des Versuches lieferte erst **Benjamin Franklin** (1706—90).

**Franklin** hat sich vom armen Buchdruckerlehrling zum Buchdrucker und Schriftsteller, dann zum Generalpostmeister und nach der Unabhängigkeitserklärung der Vereinigten Staaten zum Gesandten und Präsidenten des Kongresses von Pennsylvanien emporgearbeitet. Seit 1747 beschäftigte er sich mit elektrischen Versuchen und erkannte bald, dass die Leidener Flasche beim Laden ebensoviel Elektrizität abgiebt, als sie erhält. Es tritt also nur eine andere Verteilung der Elektrizität ein, die das

Glas der Flasche am Wiederausgleich hindert. Eine andere Verteilung der Elektrizität, nicht der Elektrizitäten! Denn **Franklin** verwarf **Dufays** Glas- und Harzelektrizität und hielt dafür, dass Körper, welche mit jener geladen wären, eine grössere, solche, die letztere enthielten, eine kleinere Menge des elektrischen Fluidums besässen, als ungeladene Körper. Er nahm also nur eine Elektrizität an, aber die Schwierigkeit in der Erklärung der Abstossung von Körpern, welche mit der gleichnamigen Elektrizität geladen sind, liess diese Ansicht nicht allgemein werden. Vielmehr trug 1759 das Mitglied der Royal Society **Symmer** (gest. 1763) die **Dufay**sche Ansicht wieder vor und brachte sie zu allgemeiner Anerkennung. Statt der Namen der Glas- und Harzelektrizität wurden seit 1777 durch den Göttinger Professor **Lichtenberg** (1744—99) die anderen positive und negative Elektrizität eingeführt.

Den grössten Ruhm verschaffte **Franklin** die Erfindung des Blitzableiters. Um die längst gemachte Annahme, dass der Blitz ein grosser elektrischer Funke sei, zu prüfen, schlug er 1750 vor, eine lange Eisenstange isoliert aufzustellen und zuzusehen, ob man mit einem zur Erde abgeleiteten, isoliert gehaltenen Drahte elektrische Funken aus ihr ziehen könne. Die zuerst in Frankreich 1752 angestellten Versuche bejahten die Frage und im September desselben Jahres machte **Franklin**, der von den französischen Versuchen noch nichts wusste, das berühmte und gefährliche Experiment, den Gewitterwolken direkt Elektrizität zu entnehmen. Er liess, als ein Gewitter aufzog, einen Drachen steigen, dessen Schnur er an einer seidenen Litze hielt, und konnte, als sie nass und leitend geworden

war, aus einem an ihr befestigten Schlüssel wirklich Funken ziehen. Gestützt auf diese und andere Versuche zeigte er dann im folgenden Jahre, dass man mit Hilfe einer es überragenden, bis in die leitenden Schichten der Erde reichenden Metallstange ein Gebäude vor dem Einschlagen des Blitzes schützen könne. Den ersten Blitzableiter aber errichtete nach einem Vorschlage **Winklers** der Pfarrer **Divisch** (gest. 1765) zu Prenditz in Mähren im Jahre 1754, noch ehe derselbe mit **Franklins** Vorschlägen bekannt geworden war. Seitdem kamen die Versuche mit Blitzableitern in die Mode, man führte unter dem geladenen Konduktor einer Elektrisiermaschine kleine Hausmodelle mit Blitzableitern durch und liess den Blitz im kleinen einschlagen, aber man legte auch unterbrechbare Blitzableiter an, die Funken gaben, wenn eine Gewitterwolke darüber hin zog. Ihr Opfer forderten freilich diese nicht ungefährlichen Versuche. Der Petersburger Professor **Richmann** (1711—53) wurde vom Blitz erschlagen, als er unvorsichtigerweise während eines Gewitters dem unterbrochenen Leiter zu nahe kam. Der heftige Streit, der bald entbrannte, ob die Wirkung des Blitzableiters eine defensive oder eine offensive sei, ob er also den einschlagenden Blitz auf sich nehmen oder sein Einschlagen verhindern müsse, ist erst in unseren Tagen entschieden worden.

So war die Wirkung der elektrischen Kräfte bekannt, aber der Schlussstein des Gebäudes, die Gesetze, nach denen sie wirken, fehlte noch. Ihn einzusetzen, war dem Pariser Akademiker **Coulomb** (1736—1806) vorbehalten, der dazu in der Drehwage an der Torsion eines Silber-

drahtes in den Jahren 1785—89 die Grösse sowohl der elektrischen, wie auch der magnetischen Anziehungs- und Abstossungskräfte mass. Wenn auch **Michell** den Apparat zu den Versuchen, die **Cavendish** später ausführte, bereits angegeben hatte, so war davon **Coulomb** nichts bekannt geworden, wie er denn auch seinen Apparat durch sorgfältige Untersuchung der Torsion des Drahtes erst für seine Zwecke brauchbar gemacht hatte. Er fand dem **Newton**schen Gravitationsgesetz analog, dass die elektrischen wie die magnetischen Kräfte im direkten Verhältnis der Elektrizitätsmengen oder Magnetismen und im umgekehrten der Quadrate der Abstände der sie enthaltenden Körper standen.

## Das neunzehnte Jahrhundert.

Unsere Betrachtung nähert sich der Gegenwart. Der Inhalt der Physik ist im Laufe der Jahrhunderte nicht nur nach der Tiefe entwickelt, er ist auch zu mächtiger Breite herangewachsen. Je länger, je mehr stimmt er mit dem überein, den wir in unseren jetzigen Lehrbüchern behandelt finden. Dieser kann noch nicht Gegenstand der Geschichte sein und so haben wir in diesem letzten Abschnitt hauptsächlich die angeknüpften Fäden zu verfolgen, bis sie sich im Glanze der Gegenwart verlieren, somit im grossen die Weiterentwickelung der überkommenen Aufgaben zu betrachten, wenn auch hie und da auf neu hinzugekommene hinzuweisen sein wird.

Der philosophische Materialismus und die Naturwissenschaft begegneten sich am Ende des vorigen Jahrhunderts in dem Bestreben, alles Bestehende aus dem

Dasein vom Stoffe oder von Stoffen zu erklären. Da aber ein Teil derselben sich mittels der Wage nicht nachweisen liess, so unterschied die Physik zwischen wägbaren und unwägbaren Stoffen, zwischen den Ponderabilien und Imponderabilien. Begriff sie unter jenen die Körperwelt, so sah sie in diesen den Lichtstoff und Wärmestoff, das magnetische und das elektrische Fluidum. Es wird unserm Jahrhundert stets zum grössten Ruhme gereichen, diese Imponderabilien aus einem einheitlichen Gesichtspunkte erklärt, ihr Wesen, auf die Anschauungen des siebzehnten Jahrhunderts zurückgehend, als eine Art der Bewegung erkannt zu haben. Aber auch durch die grosse Zahl seiner Entdeckungen, welche zum nicht geringsten Teil die Technik in ganz neue Bahnen leiteten, übertrifft unser Jahrhundert alle seine Vorgänger. Die Vervollkommnung der Fernrohre, die neuen auf die Himmelskörper anwendbaren Beobachtungsmethoden, die Arbeitsübertragungen auf grössere irdische Entfernungen, die Eisenbahnen liessen es die räumliche Beschränkung menschlichen Wesens, Telegraph und Telephon die zeitliche verringern und so hat der kurze Zeitraum eines halben Jahrhunderts im Leben der Menschheit weitaus grössere Fortschritte gezeitigt, als alle Jahrtausende vor ihm.

Der Teil der Physik, welcher beim Beginne unseres Zeitraumes die Forscher am eingehendsten beschäftigte, war die im letzten Jahrzehnt des achtzehnten Jahrhunderts entdeckte, nach dem Professor der Anatomie in Bologna **Luigi Galvani** (1737—98) genannte Lehre vom Galvanismus. Von ganz geringfügigen Zuckungen der Muskeln an den Schenkeln eines enthaupteten Frosches ging sie

aus; ein glücklicher Zufall war es, der **Galvani** eine Entdeckung machen liess, die der Anfangspunkt so vieler anderer, grösserer werden sollte. Wie andere Forscher der damaligen Zeit beschäftigte sich auch **Galvani** mit Untersuchungen über die tierische Elektrizität, die man als Ursache der elektrischen Schläge ansah, welche manche Fische, namentlich der Zitterrochen, auszuteilen vermögen. Mit diesen Untersuchungen hatte es nichts zu thun, dass er eines Tages im Jahre 1790 die Schenkel eines Frosches so weit abgeschnitten hatte, dass ihre Nerven noch durch den untersten Teil des Rückenmarkes zusammenhingen, und blossgelegt waren. Er hatte das Präparat zufällig auf einen Tisch gelegt, auf dem eine Reibungselektrisiermaschine stand, und nun bemerkte einer seiner Zuhörer, dass die Froschschenkel zuckten, wenn die Maschine in Thätigkeit war und er den freiliegenden Nerv mit dem Messer berührte. Namentlich zeigten sich starke Zuckungen, wenn ein Funke aus dem Konduktor gezogen wurde, ja, ein anderer Zuhörer glaubte zu bemerken, dass nur in diesem Momente Zuckungen erfolgten. Bei vorurteilsfreier Prüfung hätte **Galvani** diese Erscheinung als das, was sie wirklich ist, als eine einfache Influenzwirkung erkennen müssen. Voreingenommen durch seine Untersuchungen über die tierische Elektrizität hielt er sie aber für Wirkungen dieser noch so wenig aufgeklärten Kraft und hoffte in der gemachten Beobachtung ein vortreffliches Mittel gefunden zu haben, dieselbe näher zu ergründen. Zunächst suchte er sich zu versichern, dass die beobachtete Elektrizität in der That in dem tierischen Körper entstehe. Da er bemerkt hatte, dass

Blitze ebenso, wie die Funken der Elektrisiermaschine, die Zuckungen erregten, dass solche aber auch auftraten, wenn die Schenkel im Freien mittels eiserner Haken an einem eisernen Geländer aufgehängt waren, so musste er zuerst untersuchen, ob nicht etwa Änderungen der Luftelektrizität für die beobachtete Erscheinung verantwortlich gemacht werden könnten. Er schloss deshalb die Wirkung der Luftelektrizität dadurch aus, dass er die Schenkel auf eine Metallplatte legte und diese mit einer durch den Nerv gesteckten Nadel berührte. Die eintretenden Zuckungen belehrten ihn, dass die Ursache derselben in der Luftelektrizität nicht gesucht werden könne. Sie konnte demnach noch in der metallischen Verbindung oder im Nerv und Muskel liegen. Um hierüber klar zu werden, ersetzte er die Metallplatte durch eine isolierende aus Glas oder Harz und berührte mit den Enden eines Eisendrahts oder eines aus zwei Metallen hergestellten Bogens das Ende des Nervs im Rückenmark und einen Muskel am Fusse. Im ersten Fall beobachtete er keine oder nur eine schwache Zuckung, im zweiten jedesmal eine recht heftige, legte aber diesem Unterschied kein Gewicht bei. Da er, wenn er dieselbe Verbindung durch eine isolierende Substanz, wie Glas, herstellte, keine Wirkung beobachtete, so glaubte er, dass die Metalle in diesem Versuch lediglich als Leiter dienten und nur die stets im Muskel und Nerv vorhandenen ungleichnamigen Elektrizitäten ausglichen, welcher Ausgleich alsdann die Bewegung des Froschschenkels hervorriefe.

Diese, gewiss mit grosser Umsicht angestellten Versuche erregten lebhaftes Aufsehen und gewannen die Mehrzahl

der Forscher für **Galvanis** Annahme. Namentlich trat **Alexander von Humboldt** (1769—1859) in seinem ersten grössern Werke, welches Versuche über die gereizte Muskelfaser zum Gegenstand hatte, mit Entschiedenheit für sie ein. Gleichwohl fehlte es auch nicht an Stimmen, die sich der Schlussfolgerung des italienischen Gelehrten nicht anschlossen, sondern wie die Hallenser Professoren **Gren** (1760—98) und **Reil** (1758—1813) die verschiedenen Metalle des verbindenden Bogens als Quelle der Elektrizität betrachtet wissen wollten. Aber sie blieben vereinzelt und so ging auch der damalige Professor der Physik in Pavia **Alessandro Volta** (1745—1827) von der Annahme einer tierischen Elektrizität aus, als er sich 1793 mit **Galvanis** Versuchen zu beschäftigen begann. Arbeiten, die er früher, zumteil noch als Lehrer in seinem Geburtsort Como, auf elektrischem Gebiet gemacht hatte, hatten ihm bereits einen geachteten Namen verschafft. Schon 1775 war ihm im Elektrophor die Herstellung eines Apparates gelungen, der an der Oberfläche eines zwischen zwei Metallplatten eingesetzten Harzkuchens mitgeteilte Elektrizität sehr lange Zeit hindurch bewahrte. Sieben Jahre später hatte er gezeigt, dass derselbe Apparat, wenn man den Harzkuchen durch dünne Schichten Schellackfirnis ersetzte, die auf zwei Metallplatten aufgetragen wurden, dazu dienen könne, als Kondensator Elektrizität von ganz geringer Spannung nachzuweisen. Auch verdankte man ihm das Eudiometer, ein oben geschlossenes geteiltes Glasrohr, mit dessen Hilfe Gasmengen gemessen werden konnten, und endlich hatte er im Elektroskop **Nollets** die zwei mit den oberen Enden verbundenen,

an den unteren Holundermarkkügelchen tragenden linnenen Fäden oder dünnen Drähte, deren Divergenz auf die Grösse der ihnen mitgeteilten elektrischen Ladung schliessen liess, durch zwei ebenso befestigte Strohhalme ersetzt. **Volta** bemerkte sogleich bei Beginn seiner Versuche, dass die Schläge, welche die elektrischen Fische auszuteilen vermögen, eine andere Ursache haben müssten, als die, welche **Galvani** für die Zuckungen der Froschschenkel angenommen hatte, da jene zur Erzeugung derselben eigene Organe besässen; bald auch schien ihm die Deutung der Versuche mit dem aus verschiedenen Metallen bestehenden Verbindungsbogen durchaus weiterer Prüfung bedürftig. Er nahm diese vor, indem er die Enden eines solchen Bogens durch einen Sinnesnerv verband. Wählte er den Geschmacksnerv, indem er die Zunge, so wie es 1762 der aus Winterthur gebürtige Professor am Joachimsthaler Gymnasium in Berlin **Sulzer** (1720—79) bereits gethan hatte, dessen Versuch jedoch **Volta** nicht kannte, zwischen zwei Plättchen verschiedener Metalle brachte, so bemerkte er eine Geschmacksempfindung, die sauer oder alkalisch war, jenachdem das eine oder das andere Plättchen sich über oder unter der Zunge befand. Schaltete er das Auge in den Bogen ein, indem er seine Enden zu beiden Seiten desselben an den Kopf legte, so beobachtete er eine Lichtempfindung, bei Anlegen der Drahtenden zu beiden Seiten des Ohres hörte er einen Schall. Der betreffende Sinnesnerv musste also eine Reizung erfahren haben. Da diese aber nur durch eine äussere Ursache zu stande gekommen sein konnte, so musste die Quelle der sie bewirkenden Elektrizität ausserhalb des Organismus

gesucht werden. Da ferner die Reizung nur eintrat, wenn die den metallischen Verbindungsbogen bildenden Teile aus verschiedenen Stoffen bestanden oder unter Anwendung desselben Stoffes in ihren physikalischen Eigenschaften ungleich, also z. B. verschieden hart, waren, so musste die Elektrizität der Berührung dieser verschiedenartigen Teile ihre Entstehung verdanken. Die von **Galvani** unter dem Einfluss der Entladungen des Konduktors beobachteten Zuckungen der Froschschenkel erklärte er für eine Influenzwirkung, die dadurch entstehe, dass der mit Elektrizität geladene Konduktor die ungleichnamige Elektrizität in die Schenkel hereinziehe, diese aber nach der Entladung zur Erde zurückgehe und dabei den die Zuckungen verursachenden Nervenreiz hervorrufe.

Galvanische nannte **Volta** die Elektrizität, welche er durch Berührung von Metallen erhalten konnte, und bewahrte so der dieselbe behandelnden Lehre, während er ihr seinen Geist einhauchte, den Namen ihres Entdeckers. Da aber die Wirkungen dieser Elektrizität so schwach waren, dass man sie nur mit Konduktor und Elektroskop nachweisen konnte, so suchte er sie dadurch zu verstärken, dass er eine grössere Zahl solcher Plattenpaare anwandte, die er durch dazwischengelegte, der bessern Leitung wegen mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Papp- oder Tuchscheiben trennte, oder dass er eine grössere Anzahl Platten in ein mit dieser Flüssigkeit getauchtes Glasgefäss senkte und die aufeinanderfolgenden ungleichnamigen Metalle jedesmal durch einen Draht verband. Die so erhaltene, nach ihm genannte Säule

gab nun nicht nur stärkere, sondern auch länger andauernde elektrische Wirkungen, als sie ihm seine Fundamentalversuche geliefert hatten. Die Zusammenstellung zweier in der angegebenen Weise leitend verbundener Metalle mit einer Flüssigkeit wurde in der Folge galvanisches Element genannt, das mit anderen seines gleichen zur galvanischen Kette oder Batterie verbunden wurde.

Da der Ausgleich der Elektrizitäten fortdauernd durch den Verbindungsdraht der beiden Endplatten der Säule stattfand, so verglich man ihre Bewegung mit der des fliessenden Wassers und redete seitdem schlechtweg vom galvanischen Strom, der sich vom Wasserstrom freilich dadurch unterschied, dass sich in ihm beide Elektrizitäten gleichzeitig im entgegengesetzten Sinne bewegten. **Volta** fand weiter, dass sich die Metalle behufs Ausgleichung der Fundamentalversuche in der Weise in eine Reihe, die Spannungsreihe, ordnen liessen, dass jedes vorhergehende mit dem folgenden in Berührung gebracht ebensoviele positive mit Hilfe des Kondensators und Elektroskops nachweisbare Elektrizität erhielte, als dieses negative, und dass bei einer Reihe sich berührender Metalle die Ladung der Endglieder ebenso erfolge, als seien die dazwischen befindlichen gar nicht vorhanden. Er glaubte, dass für die Flüssigkeiten ein ähnliches Gesetz, wie für die Metalle, gelte, es gelang ihm aber nicht, dasselbe nachzuweisen.

Im Jahre 1800 teilte er die Ergebnisse seiner Arbeiten der Royal Society, im folgenden der Pariser Akademie der Wissenschaften mit. Die letztere setzte eine Kommission ein, die des italienischen Gelehrten Versuche mit bestem Erfolg wiederholte, und ehrte ihn auf Antrag des

ersten Konsuls der französischen Republik, des Generals **Bonaparte,** durch Überreichung einer goldenen Denkmünze und einer Geldsumme von 6000 Mark. Auch nach seiner Thronbesteigung bewahrte der Kaiser **Napoleon** dem grossen Forscher seine volle Teilnahme und bewies ihm dieselbe unter anderm auch durch seine Erhebung zum Grafen und zum Senator des lombardischen Königreiches.

**Voltas** Versuche erregten, wie vorher die **Galvanis,** das allgemeinste Interesse. Überall wiederholte man sie, baute Säulen und studierte ihre Wirkungen. Wie man nun einerseits an den ersteren unzählige Verbesserungen anbrachte, um die Bequemlichkeit ihrer Handhabung zu erhöhen, Verbesserungen, welche für uns kaum noch Bedeutung haben, so waren es anderseits die im Stromkreise eintretenden Wirkungen, auf die man sein Augenmerk richtete. Von solchen beobachtete man zuerst die chemischen Vorgänge, welche der Strom in Flüssigkeiten hervorrief. Schon 1795 fand der Londoner Arzt **Ash** (gest. 1829), dass angesäuertes Wasser, durch welches man den Strom leitete, in seine Bestandteile zerlegt wurde, eine Entdeckung, die **Alexander von Humboldt** voll bestätigte, und mit der Wende des Jahrhunderts zeigte der spätere Münchener Akademiker **Ritter** (1776—1810), dass aus einer ebenso behandelten Lösung von Kupfervitriol Kupfer niedergeschlagen wurde. In hohem Grade erleichtert wurde das Verständnis dieser Vorgänge durch die Ansicht von den chemischen Verbindungen, die 1803 der Privatlehrer in Manchester **Dalton** (1766—1844) aussprach und die sich bald allgemeiner Anerkennung erfreute. Danach sollten die Elemente aus gleichartigen

Atomen bestehen, die sich in der chemischen Verbindung zu zusammengesetzten Atomen vereinigten. So erschien die Vermutung gerechtfertigt, dass alle zusammengesetzten Körper durch den Strom in ihre Elemente zerlegt werden könnten, und die Darstellung des Kalium und Natrium aus ihren Sauerstoffverbindungen, welche 1807 dem Engländer **Humphry Davy** (1778—1829), der sich vom Lehrling eines Chirurgen zum Professor der Chemie an der Londoner Royal Institution emporgeschwungen hatte, gelang, war nur dazu angethan, diese Vermutung zu bestätigen.

Anfangs freilich blieben noch Zweifel, ob jene beiden so wenig beständigen Metalle nicht noch Wasserstoff enthielten; erst 1811 wurde ihre Natur als Elemente *völlig* erwiesen. Die Thatsache, dass die ausgeschiedenen Elemente der Elektrizität gefolgt waren, schien aber nur dadurch erklärt werden zu können, dass man annahm, sie seien von vornherein elektrisch gewesen; diese Annahme musste von grosser Wichtigkeit für das Verständnis der chemischen Zersetzung und Verbindung werden. In der That begannen in dem nämlichen Jahre 1811 die Arbeiten des Stockholmer Professors **Berzelius** (1779—1848), der 1820 sein dualistisches, auf der Annahme positiver und negativer Atome beruhendes System völlig durchgearbeitet den Fachgenossen vorlegte.

Nachdem die strömende Elektrizität in die engste Wechselwirkung zum chemischen Prozess gesetzt worden war, musste es ungereimt erscheinen, die beim Kontakt zweier Metalle entstehende Ladung aus einer, wie es das Aussehen hatte, zu diesem Zweck erfundenen Kraft zu erklären und nicht aus der chemischen Wirkung, welche doch in

der Säule stattfindet. Diesen Einwand machte bereits 1810 der Florentiner Beamte und Pisaner Honorarprofessor **Fabbroni** (1752—1822) seinem berühmten Landsmanne. Nachdem dann Kalium und Natrium als Elemente erkannt waren, schloss sich der Londoner Rentner **Wollaston** (1766—1828), den die Entdeckung, dass und wie man Platin schmieden könne, zum reichen Manne gemacht hatte, dieser Ansicht an und stellte der Kontakttheorie **Voltas** die chemische Theorie gegenüber, nach welcher die Oxydation der Oberflächen der in Berührung befindlichen Metalle die Ursache der strömenden, wie der Kontaktelektrizität sein sollte.

Gelegentlich des Berichtes, den der Pariser Professor **Biot** (1774—1862) als Mitglied der von der Pariser Akademie der Wissenschaften über **Voltas** Versuche eingesetzten Kommission zu erstatten hatte, hatte er die Verteilung der Elektrizität in der Säule untersucht und die Ergebnisse seiner Untersuchungen auch auf die Leidener Batterie ausgedehnt. Diese Versuche wiederholten **van Marum** und der sich bei ihm in Haarlem zum Besuche aufhaltende Kieler Professor **Pfaff** (1773—1852) und fanden dabei, dass der galvanische Strom, der in flüssigen Leitern chemische Wirkungen hervorruft, feste Leiter von kleinem Querschnitt stark erhitzt. Sie konnten unter Anwendung einer kräftigen Voltaischen Säule Metalldrähte zum Glühen, ja zum Schmelzen bringen.

Alle diese Untersuchungen waren zu einer Zeit angestellt worden, in der die Napoleonischen Kriege unsern Weltteil von Grund aus erschütterten. Waren dieselben nicht im stande gewesen, die Beschäftigung mit den

Wissenschaften zu unterdrücken, so sollten sie vielmehr der Ausgangspunkt werden für eine Erfindung, welche nächst der der Dampfmaschine berufen war, das Leben der kultivierten Menschheit völlig umzugestalten, für die Erfindung des elektrischen Telegraphen. 1792 hatte **Chappe** (1763—1805) in Frankreich einen optischen Telegraphen hergestellt, der den Wohlfahrtsausschuss in Paris mit einer damals völlig ungewohnten Schnelligkeit von dem Stande der Dinge an den Grenzen Frankreichs, wo die junge Republik fortwährend Kriege zu führen hatte, in Kenntnis setzte. Die Einrichtung dieses Telegraphen war im wesentlichen diejenige der mächtigen Apparate, welche jetzt den Zügen die Einfahrt in die Bahnhöfe gestatten oder verwehren, nur besassen sie auf beiden Seiten je zwei bewegliche Arme, deren gegenseitige Stellungen die Buchstaben des Alphabets gaben. Sie wurden mittels Fernrohre beobachtet und ermöglichten 1809, als Österreich dem Kaiser der Franzosen den Krieg erklärt hatte, diesem mit unerwarteter Geschwindigkeit auf dem Kriegsschauplatz zu erscheinen und das unbegreifliche Zögern der österreichischen Generäle durch eine Reihe der empfindlichsten Niederlagen verhängnisvoll zu machen. Trotzdem lag die Unvollkommenheit dieser Art des Signalgebens, das vom Wetter und Tageslicht abhing, klar zu Tage und so kam der damalige Professor der Anatomie in München **Sömmering** (1755—1830) auf den Gedanken, durch Anwendung der Elektrizität einen Telegraphen herzustellen, welcher diese Unvollkommenheit nicht zeigte.

Dem Zuge der Zeit folgend hatte **Sömmering** sich viel mit der Voltaischen Säule beschäftigt und so schien

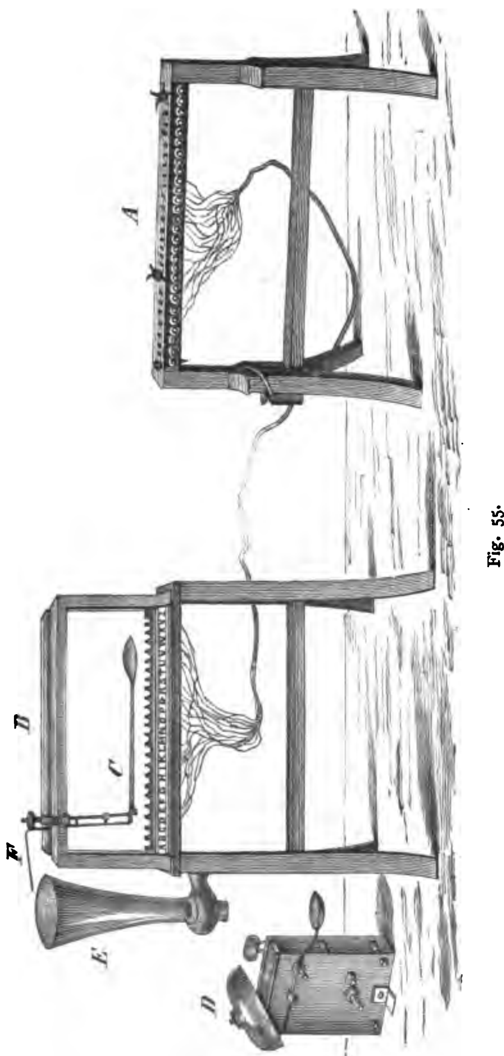



Fig. 55.

ihm die Wasserzersetzung zur telegraphischen Übersendung von Nachrichten geeignet zu sein. Den von ihm angewandten Apparat zeigt Fig. 55. Er besteht aus dem Zeichengeber *A* und dem Empfänger *B*. Der erstere trägt auf einem Gestelle fünfunddreissig Metallblättchen (bei dem dargestellten spätern Apparate nur siebenundzwanzig), die mit isolierten, zu einem Kabel verbundenen Drähten in leitender Verbindung stehen. Jedes Blättchen entspricht einem Buchstaben oder einer Zahl, die vor ihm angegeben ist. Die von ihnen ausgehenden Drähte sind in dem Gestell *B* an ebensoviele in aufrechter Stellung endigende Golddrähte angelötet, welche den nämlichen Buchstaben entsprechen, wie die zugehörigen Blättchen. Über die Drähte ist ein mit angesäuertem Wasser gefüllter Glasbehälter, in dessen Boden sie eintreten, aufgesetzt. Werden nun zwei Blättchen von *A* mit den Polen einer Voltaischen Säule in Verbindung gesetzt, so tritt an den mit den nämlichen Buchstaben bezeichneten Golddrähten in *B* Wasserzersetzung auf und indem **Sömmering** bestimmte, dass durch den in reichlicherer Menge auftretenden Wasserstoff der zuerst zu lesende Buchstabe gegeben sein sollte, konnten solche und somit Wörter und Sätze auf beliebige Entfernungen mitgeteilt werden. Um den Beobachter an der Empfangsstation herbeizurufen, diente eine gewöhnliche Weckeruhr *D*, welche durch eine in den seitlich angebrachten Löffel fallende Kugel ausgelöst wurde. Dieselbe war durchbohrt und für gewöhnlich über das drahtförmige Ende des zweiarmigen Hebels *FC* geschoben, dessen anderes Ende ein mit der Höhlung nach unten aufgestellter Löffel bildete. Der Hebel war so gedreht,

dass *F* wagerecht stand und in dieser Lage die Kugel hielt. Sollte der Wecker ausgelöst werden, so wurde durch Schliessen des Stromes in *B* Gas unter dem löffelförmigen Ende *C* des Hebels entwickelt. Dieses hob sich, senkte dadurch *F*, die Kugel glitt in den Glastrichter *E* und fiel durch diesen auf den Löffel des Weckers *D*. Die Versuche, die **Sömmering** auf grössere Entfernungen mit seinem Apparate anstellte, gelangen nach Wunsch, doch hatte die Sache weiter keinen praktischen Erfolg, es blieb bei dem interessanten Versuche.

Um so grösseres Aufsehen erregte die Entdeckung, welche der Kopenhagener Professor **Oersted** (1777—1851) im Jahre 1820 machte, dass der elektrische Strom im stande ist, eine in seiner Nähe befindliche Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage abzulenken. Die merkwürdige Thatsache lernte auf der Naturforscherversammlung in Genf, die in demselben Jahre 1820 stattfand, der Astronom des Längenbureaus in Paris **Arago** (1786—1853) kennen und indem er, nach Paris zurückgekehrt, sie mit **Gay-Lussac** (1778—1850), der damals Professor an der dortigen Polytechnischen Schule war, durch weitere Versuche prüfte, fanden beide Forscher, dass man eine Stahlnadel auch magnetisieren könne, indem man mittels eines schraubenförmig gewundenen Kupferdrahtes einen Strom um sie herumführte.

Der Pariser Akademie wurden **Oersteds** Versuche in der Sitzung vom 11. September 1820 vorgeführt. Derselben wohnte der aus Lyon gebürtige Professor der Physik am Collège de France in Paris **Ampère** (1775—1836) bei. Mit wie lebhaftem Interesse der geniale Mathematiker

diesem Vortrag gefolgt war, bewies er dadurch, dass er die Versuche sofort wiederholte und weiterführte. Schon acht Tage später trat er mit der Entdeckung der allgemeineren Gesetze auf, denen sich die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom als besonderer Fall unterordnete. Später lieferte er auch die mathematische Darstellung derselben, welche für die deutschen und französischen Forscher ebenso massgebend wurde, wie es zehn Jahre früher die von dem Pariser Professor und spätern Pair von Frankreich **Poisson** (1781—1840) aufgestellte Theorie der Verteilung der statischen Elektrizität auf Leitern bereits geworden war.

**Ampère** fand zunächst, dass zwei von Strömen durchflossene Drähte auf einander anziehend oder abstossend wirken, jenachdem die Ströme sie in der nämlichen oder in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, wobei er als Richtung des Stromes die der positiven Elektrizität betrachtete; dass überhaupt ein Strom auf einen ihm benachbarten so wirkt, dass er ihm sich parallel zu stellen sucht. Er bewies diese Sätze mit Hilfe von Drahtrechtecken, die, vom Strom durchflossen, sich um eine Spitze drehen konnten und neben deren geradlinig verlaufende Teile ein von demselben oder einem andern Strom durchflossenes Drahtstück gestellt wurde. Sodann gab er die nach ihm benannte einfache Regel an, nach welcher sich aus der gegebenen Richtung des Stromes für jede Lage der Magnetnadel deren Ablenkung ergab und umgekehrt aus der Lage der Nadel die Richtung des Stromes. Unter der Einwirkung desselben nahm die Magnetnadel eine feste Stellung an, ebenso wie eine vom Erdmagnetismus gerichtete

es auch that. Diese Ähnlichkeit legte **Ampère** den Gedanken nahe, dass ein Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus bestehen dürfte, wofür auch die auf Schiffen mehrmals gemachte Beobachtung zu sprechen schien, dass in ihrer Nähe herabgegangene Blitze die Stärke oder Polarität der Kompassnadel geändert hatten. War diese Annahme zutreffend, dann musste in der Erde ein elektrischer Strom kreisen, der der Nadel ihre feste Lage erteilte. Sein Dasein aber konnte mit Hilfe eines Drahtrechtecks nachgewiesen werden, wenn es möglich war aus der Richtung der Nadel den Verlauf dieses mutmasslichen Stromes abzuleiten. Um dazu zu gelangen, war es nötig, einen Strom von bekannter Richtung auf eine astatische Nadel einwirken zu lassen, d. h. eine Nadel, welche der Einwirkung des Erdmagnetismus entzogen war. Da diese Einwirkung in der Richtung der Inklinationsnadel erfolgt, so brauchte man nur eine Nadel so aufzustellen, dass ihre Achse deren Richtung parallel war. Liess man auf eine solche einen Strom einwirken, so stellte sie sich senkrecht zu ihm und so, dass ein mit dem Strome mit der Nadel zugewandtem Gesicht Schwimmender den Nordpol zu seiner Linken hatte. Aus der Richtung der Kompassnadel ergab sich somit, dass der Erdstrom, wenn er vorhanden war, die Erde von Ost nach West umkreisen musste, so dass seine Richtung mit der Richtung des Parallelkreises einen der Deklination des betreffenden Ortes gleichen Winkel bildete. Ein solcher aber musste ein um eine scheitelrechte, senkrecht zur Deklinationsnadel liegende Achse drehbares Drahtrechteck, in dessen westlicher Seite ein Strom aufstieg, senkrecht zum magnetischen

Meridian stellen, ein ebensolches mit wagerechter, senkrecht zum magnetischen Meridian gestellter Achse versehenes senkrecht zur Richtung der Inklinationsnadel. Die Versuche bestätigten diese Schlüsse und damit war bewiesen, dass die Erde ihren Magnetismus einem wie oben angegeben verlaufenden Strome verdankt. Nun aber musste **Ampère** weiter schliessen, dass dieselbe Ursache auch allen anderen Magneten ihre besonderen Eigenschaften verleihe oder dass ein Magnet nichts anderes sei, als ein von Kreisströmen in der Richtung des Uhrzeigers umflossener Stahlstab, wenn das Zifferblatt der Uhr auf den Südpol aufgesetzt gedacht wurde. War aber ein solcher Strom die Ursache des Magnetismus, dann mussten weiter Drahtspiralen, durch welche Ströme kreisten, auch ohne Eisenkern Magnete sein und es gelang in der That **Ampère**, die Anziehung ihrer ungleichnamigen, die Abstossung ihrer gleichnamigen Enden sichtbar zu machen. Eine solche Spirale durch den Erdmagnetismus in der Richtung der Inklinationsnadel stellen zu lassen erreichte **Ampère** aber nicht, dieser Versuch gelang erst **Faraday**. Dagegen machte **Ampère** noch einen weitern, für die Einsicht in das Wesen eines Magnets bedeutsamen Schritt. Da alle auch noch so kleinen Teilchen eines Magnets, wie bereits **Gilbert** beobachtet hatte, stets ebenfalls Magnete sind, deren Pole wie die des ursprünglichen liegen, so wird man annehmen müssen, dass auch jedes Atom eines Magnets wieder ein Magnet ist, dass somit ein Magnet aus einer unendlich grossen Menge sehr dünner magnetischer Fäden besteht. Diese müssen von Strömen umflossen sein, deren Durchmesser unendlich klein sind, ein Magnet muss also aus

einer sehr grossen Menge solcher Ströme, Solenoiden, wie sie **Ampère** nannte, bestehen. Sie können keine andere Wirkung haben, wie ein einziger einen Magnet umkreisender Strom, da sich die im Innern eines jeden Querschnittes vorhandenen, weil sich stets in entgegengesetzten Richtungen begegnend, aufheben.

Weiter entging es **Ampère** nicht, dass die Ablenkung der Magnetnadel sich vortrefflich zur Herstellung eines Telegraphen eignen würde. Wenn er nun auch den Vorschlag zu einem solchen machte, so hat er ihn doch nicht ausgeführt. Auch wäre sein Telegraph ebenso wenig wie derjenige **Sömmerings** praktisch verwendbar gewesen, da er für jeden Buchstaben eine Nadel mit Stromkreis aufstellen wollte, also eine allzugrosse Anzahl von Drähten bedurft hätte. Die astatische Nadel **Ampères** hatte sich zwar als völlig brauchbar erwiesen, aber sie konnte einfacher erhalten werden, wenn man zwei gleiche Magnetnadeln durch ein unmagnetisches Stäbchen so übereinander befestigte, dass ungleichnamige Pole übereinander zu liegen kamen. Ein zwischen sie ihnen parallel gelegter Leitungsdraht musste alsdann beide in demselben Sinne ablenken. Da der Einfluss der Erde auf beide in entgegengesetzter Richtung erfolgt, so ist er sehr gering und mit dieser jetzt gewöhnlich als astatische Nadel bezeichneten Kombination, die er 1821 zuerst anwandte, war somit **Ampère** ebenfalls im stande, recht schwache Ströme nachzuweisen. Doch hatte der so eingerichtete Apparat noch nicht den grösstmöglichen Grad der Empfindlichkeit. Diesen erteilte ihm 1825 der frühere italienische Artilleriehauptmann **Nobili** (1779—1835), der als Professor der

Physik in Florenz starb, indem er den einen stromführenden Draht durch den von dem Haller Professor **Schweigger** erfundenen Multiplikator ersetzte, bei dem eine Magnetnadel im Innern eines in vielen Windungen um eine hölzerne, flache Hülse gelegten isolierten dünnen Kupferdrahts schwebte. **Nobili** brachte die untere Nadel innerhalb, die obere über der Hülse, die einen in Grade geteilten horizontalen Kreis trug, an. Auf die untere Nadel wirkten dann die beiden durch eine mitten hindurchgelegte wagerechte Ebene erhaltenen Drahthälften in demselben Sinne ablenkend, auf die obere ebenso die obere Hälfte und man hatte so einen ungemein empfindlichen Strommesser (Galvanometer) erhalten.

Die 1821 durch den Berliner Akademiker **Thomas Johann Seebeck** (1770—1821) gemachte Entdeckung der Thermoströme erweiterte die Brauchbarkeit des Galvanometers auch auf die Messung sehr geringer Temperaturunterschiede. Thermoströme werden erhalten, wenn man beide Enden zweier schmaler Streifen verschiedener Metalle zusammenlötet und die eine Lötstelle erwärmt oder auch abkühlt. Positiv heisst dann dasjenige der beiden Metalle, von dem der Strom in der erwärmten Lötstelle zu dem andern, dem negativen, geht, wobei natürlich ein Metall in Bezug auf ein anderes positiv, in Bezug auf ein zweites aber negativ sein kann. Indem **Seebeck** die Metalle so in eine Reihe zusammenstellte, dass immer das positive dem negativen voranging, konnte er in den Lötstellen jeder Kombination die Richtung des Thermostromes leicht bestimmen. Auch gab die Reihe über die zu erwartende Stärke des Stromes Auskunft, da diese um so

grösser war, je weiter von einander entfernt die Metalle in ihr ihren Platz fanden. Den stärksten Strom mussten somit die beiden Endglieder der Reihe geben, Wismut und Antimon. Diese benutzte deshalb **Nobili** zur Herstellung seiner Thermosäule. Er stellte sechs mit ihren Enden verlötete Wismut- und Antimonstäbchen im Kreise so auf, dass Lötstellen, in denen bei Erwärmung der Strom in der nämlichen Richtung verlief, möglichst nahe dem Mittelpunkt des Kreises zu liegen kamen, und setzte sie der strahlenden Wärme aus, indem die übrigen Lötstellen durch einen kreisförmigen, mit einer zentralen Öffnung versehenen Schirm geschützt waren. Der neapolitanische Professor **Melloni** (1798—1854) erhöhte die Anzahl der Elemente auf sechzehn und dieser Apparat wurde in der Folge das wichtigste Hilfsmittel für die Erforschung der Thatsachen der strahlenden Wärme.

Im Gegensatz zu diesen schwachen Strömen, welche die geringsten Temperaturunterschiede nachzuweisen erlaubten, zeigten sich die stärksten, die man erhalten konnte, geeignet, Wärmegrade hervorzubringen, die wenn auch an räumlich engbegrenzten Stellen alle bisher bekannten übertrafen, und, indem man mit ihrer Hilfe Körper in die lebhafteste Weissglut versetzte, das elektrische Licht zu liefern, mit dessen Glanz nur der der Sonne vergleichbar war. Dass beim plötzlichen Öffnen starker Ströme helle Funken auftreten, war schon längst beobachtet, als **Pfaff** nachwies, dass der Öffnungsfunke sein Licht ganz kleinen Teilchen des unterbrochenen Leiters verdankte, die an der Trennungsstelle losgerissen und, während sie dem Strom noch den Durchgang gestatteten, in heftigste

Glut versetzt wurden. **Ritter** zeigte, dass diese Funken besonders glänzend wurden, wenn ein in den Leitungskreis eingeschalteter Kohlenstift an der Unterbrechungsstelle das eine Ende des Drahtes bildete. Ein überaus blendendes Licht rief 1820 der Genfer Physiker **Auguste de la Rive** (1801—73) hervor, als er bei Anwendung einer Säule von 380 Elementen zwei in den Leitungskreis eingeschaltete Kohlenstäbe von einander entfernte, und ein an Helligkeit auch dieses noch weit übertreffendes **Davy**, als er im folgenden Jahre zu demselben Versuche eine Säule von 2000 Zellen benutzte.

Nicht minder wichtig für Theorie und Praxis wurden einige andere Arbeiten, die von **Ampères** Untersuchungen ausgingen. Ist der Magnet ein von Strömen umflossener Stahlstab, und wird ein Eisenstab unter dem Einfluss eines Magnets selbst zum Magnet, so muss man einen solchen ja auch zum Magnet machen können, indem man einen isolierten Draht schraubenförmig um ihn herumwindet und durch diesen einen Strom schickt. Eine derartige Überlegung führte 1825 **Sturgeon** (1783—1850), welcher sich vom Schuhmacher zum Professor emporgearbeitet hatte, zur Erfindung des Elektromagnets, der für Telegraphen- und Beleuchtungstechnik von der grössten Wichtigkeit werden sollte. Noch aber fehlte die Kenntnis der Abhängigkeit der Stärke des Stromes von der Beschaffenheit des Leitungskreises und der Grösse der ihn hervorrufenden elektromotorischen, d. h. der im Elemente wirkenden Scheidungskraft. Die Entdeckung dieser Abhängigkeit und ihre Präzisierung in Form des Gesetzes, dass die Stromstärke der elektromotorischen Kraft direkt, dem Widerstande

des Stromkreises umgekehrt proportional ist, unter gleichzeitiger Definition dieses Widerstandes, hat den Namen des damaligen Lehrers an der Kriegsschule in Berlin **Georg Simon Ohm** (1787—1854) denen der berühmtesten Forscher auf elektrischem Gebiet an die Seite gestellt, das Jahr dieser Entdeckung 1826 zu einem der wichtigsten in der Geschichte der Wissenschaft gemacht. Denn von nun an war es erst möglich, die so verwickelten Vorgänge bei elektrischen Strömen völlig klar zu durchschauen, und je ausgebreiteter deren Anwendungen wurden, um so mehr trat die grundlegende Bedeutung dieser unentbehrlichen Kenntnis hervor. Gerade in dieser Zeit aber begannen die Arbeiten **Faradays** (1791—1867), die, mit einer experimentellen Begabung ohne Gleichen ausgeführt und dem untrüglichsten Scharfblick gedeutet, den damals auf elektrischem Gebiet bekannten Erscheinungen eine überwältigende Fülle ungeahnter und verwickelter neuer hinzufügten. **Faraday** war noch nicht lange Buchbinderlehrling geworden, als er in **Davys** Laboratorium als Gehilfe übertrat, und er starb als eine der grössten Zierden der Royal Society. Seine frühesten Arbeiten waren hauptsächlich chemischen Untersuchungen und Versuchen, die Gase zu verflüchtigen, gewidmet gewesen, auch war es ihm gelungen, das abweichende Verhalten leichterer Körper von dem des Sandes auf schwingenden Platten auf eine Wirkung der dabei entstehenden Luftwirbel zurückzuführen. Finden sich darunter auch bereits einige elektrische Arbeiten, zu denen ihn **Ampères** Untersuchungen angeregt hatten, so wandte er doch erst später seine ganze Kraft dem Gebiete zu, das er völlig umgestalten sollte.

Seine Entdeckungen auf demselben lassen sich in vier Gruppen teilen. Die erste derselben umfasst die Erscheinungen der Induktion und verwandte. Wenn ein Strom geschlossen oder geöffnet wird, so entsteht in einem ihm parallel verlaufendem geschlossenen Leitungskreise ein im ersten Falle dem ursprünglichen entgegengesetzter, im zweiten ein ihm gleichgerichteter Strom von momentaner Dauer, den **Faraday** den Induktionsstrom nannte. Nähern oder Entfernen beider Leiter bei ununterbrochenem ursprünglichen Strome oder Verstärken und Schwächen desselben bringt dieselbe Wirkung, wie Schliessen und Öffnen, wenn auch in geringerm Grade, hervor, ebenso in Übereinstimmung mit **Ampères** Theorie des Magnetismus Einschieben oder Herausziehen eines Magnets in eine oder aus einer Drahtspirale. War eine solche in einen Stromkreis eingeschaltet, so mussten ihre einzelnen Windungen induzierend auf einander wirken und so namentlich den Strom in dem Augenblick, in dem er unterbrochen wurde, bedeutend verstärken. Den so durch Selbstinduktion entstehenden Strom nannte **Faraday** den Extrastrom und zeigte, dass eine eingeschaltete Spirale denselben und damit auch den Öffnungsfunken bedeutend verstärkte. Den bei seinen Versuchen häufig angewendeten Multiplikator verbesserte er bei dem Bestreben, die von **Arago** entdeckte aber unaufgeklärt gelassene merkwürdige Erscheinung des Rotationsmagnetismus auf Induktion zurückzuführen. **Arago** hatte beobachtet, dass eine Magnetnadel, unter der eine Kupferscheibe rasch rotiert, in dem Drehungssinne der Kupferscheibe abgelenkt wird, auch wenn eine zwischen beiden aufgestellte Glasscheibe verhindert, dass die bewegte

Luft die Nadel mitnehmen kann. Den Grund der Erscheinung fand **Faraday** in Induktionsströmen, die durch Einwirkung der Magnetnadel in solchem Sinne erregt wurden, dass sie die Nadel wie angegeben richteten. Entgegengesetzt verlaufende Ströme mussten somit in der Scheibe entstehen, wenn die Nadel über der ruhenden in Schwingungen versetzt wurde. Diese mussten aber die Nadel stets zurücktreiben und sie so rascher zur Ruhe kommen lassen, als es ohne Scheibe der Fall gewesen wäre. Das machte **Faraday** für den Multiplikator nutzbar, indem er den Draht auf eine Hülse von Kupfer oder Messing anstatt des früher stets angewendeten Holzes wickelte. Auf solche Weise bewirkte er die Dämpfung der Schwingungen und erreichte, dass die Nadel viel rascher als sonst in ihre Ruhelage zurückkehrte, die Beobachtungen eine viel geringere Zeit in Anspruch nahmen. Bei seinen Versuchen traten fortwährend Wirkungen in die Ferne auf, die **Faraday** als solche nicht anzuerkennen vermochte. Er glaubte sie vielleicht aus dem den Raum erfüllenden Lichtäther erklären zu können, indem er sich die Ausbreitung der magnetischen Kräfte in Linien vorstellte, wie man gewohnt ist, sich die Ausbreitung des Lichtes in Strahlen zu denken. Namentlich durch die Bedürfnisse der neuern Elektrotechnik haben diese Kraftlinien **Faradays** an Bedeutung und allgemeiner Verwendung gewonnen, denn sie lassen in einfachster und namentlich äusserst anschaulicher Weise die Art der Wirkung eines Magnets oder einer Zusammenstellung von solchen bestimmen. Die Atome freilich hielt er, wie **Boscovich,** nur

für Kraftzentren, eine Annahme, in der ihm die Wissenschaft jedoch nicht gefolgt ist.

Die zweite Gruppe seiner Arbeiten bilden seine Untersuchungen über die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes. Sie begannen mit Einführung geeigneter Bezeichnung der in Frage kommenden Vorgänge und gipfelten in dem 1834 aufgestellten elektrolytischen Gesetz, wonach ein Strom gleiche Atomgewichte verschiedener Verbindungen zersetzt, die er durchfliesst. Dasselbe gab also ein Mittel an die Hand, durch die Mengen der von ihnen abgeschiedenen oder zersetzten Stoffe Ströme hinsichtlich ihrer Stärke zu vergleichen. **Faraday** wählte die Wasserzersetzung und nannte den dazu dienenden Apparat Voltameter. Von da wandte er sich zu den Untersuchungen, die die Entstehungsursache des von der Voltaischen Säule gelieferten Stromes aufzufinden zum Zwecke hatten. Er fand sie in dem den Strom stets begleitenden chemischen Prozess und geriet so in Gegensatz zu den Anhängern der Kontakttheorie **Voltas,** der er bereits 1840 entgegenhielt, dass sie aus Nichts Kraft entstehen lasse. Diesem Angriffe gegenüber konnte sich die Kontakttheorie in der Form, die ihr **Volta** gegeben hatte, nicht behaupten. Aber trotzdem sind ihre Anhänger nicht genötigt worden, sie aufzugeben, seitdem **Helmholtz** 1847 sie dahin abgeändert hatte, dass er im chemischen Prozess die Ursache der Stromerzeugung im Elemente sah, durch eine besondere elektromotorische Kraft aber die elektrische Erregung bei der Berührung von Metallen bewirken liess. In dieser Fassung ist die Kontakttheorie auch jetzt noch namentlich in Deutschland festgehalten worden.

Eine einzige Abhandlung bildet die dritte Gruppe der experimentellen Hinterlassenschaft **Faradays.** Zur Zeit ihrer Entstehung ohne Zusammenhang mit den anderen, ist ihre Vereinzelung erst in neuester Zeit aufgehoben worden. Sie stellt einen wunderbaren Zusammenhang zwischen Elektrizität und Licht fest, doch werden wir erst später ihre Wichtigkeit auseinanderzusetzen im stande sein. Auch die vierte Gruppe lieferte in der Entdeckung des Diamagnetismus und einer Anzahl verwandter Erscheinungen eine Reihe von Thatsachen, die lange mehr oder weniger unverständlich blieben. **Faraday** macht darin auf das ganz verschiedene Verhalten der Körper beim Erregen eines kräftigen Elektromagnets aufmerksam, zwischen dessen Polen sie drehbar aufgehängt worden sind. Einige, wie Eisen- und Stahlstäbchen, stellen sich so, dass ihre Längsrichtung in die Verbindungslinie der Pole fällt, andere senkrecht dazu. Die letztere Stellung nehmen bei weitem die meisten aller Körper an, sie nennt **Faraday** diamagnetische, im Gegensatz zu den magnetischen, oder genauer paramagnetischen. Der Aggregatzustand ist dabei gleichgültig, und so finden sich auch unter den Gasen beide Eigenschaften vertreten. Namentlich ist der Sauerstoff ein so ausgesprochen paramagnetischer Körper, dass **Faraday** aus diesem Verhalten eines Teiles der Atmosphäre die Änderungen des Erdmagnetismus erklären wollte. Nachdem man die Abhängigkeit dieser Änderungen von der Häufigkeit der Sonnenflecken kennen gelernt hatte, musste man zwar jenen Erklärungsversuch fallen lassen, immerhin ist ein Einfluss der Temperaturänderungen des Sauerstoffs auf die Äusserungen des Erdmagnetismus,

wenn auch noch nicht festgestellt, doch nicht unmöglich. Diamagnetismus und Paramagnetismus auf die Ampèresche Molekulartheorie des Magnets zurückzuführen ist **Faraday** freilich nicht gelungen; den ursächlichen Zusammenhang beider hat erst 1852 **Wilhelm Weber** dargelegt.

Bei den Versuchen mit strömender Elektrizität war man immer noch ausschliesslich auf die Voltaische Säule oder eine ihrer Abänderungen angewiesen, hatte aber dabei sehr mit dem grossen Übelstand zu kämpfen, dass ihr anfangs kräftiger Strom sehr rasch schwächer wurde und seine anfängliche Stärke nicht wieder erreichte. Namentlich war dies in solchen Fällen ungemein hinderlich, in denen man recht starke Ströme nötig hatte, und so erfüllte auch die mächtige Säule, welche **Napoleon I.** für die Polytechnische Schule in Paris bauen liess, die auf sie gesetzten Hoffnungen keineswegs. Da sie zu dem Zwecke gebaut worden war, die Versuche **Davys** zur Herstellung des Kaliums und Natriums zu wiederholen, so war es unter den angeführten Umständen ein wesentlicher Fortschritt gewesen, dass **Gay-Lussac** und sein Kollege **Thénard** (1777—1857) noch vor ihrer Vollendung einen Weg zur Herstellung der genannten Metalle auf chemischem Wege gefunden hatten, und so diente sie nur dazu, die Eigenschaften einer Säule von grossen Abmessungen kennen zu lernen. Nachdem 1802 der Pariser Musiklehrer **Gautherot** (1753—1803) und bald darauf **Ritter** gezeigt hatten, dass ein Wasserzersetzungsapparat im stande ist, einen dem die Zersetzung bewirkenden entgegengesetzten Strom hervorzurufen, wenn man ihn ausschaltet und den Leitungskreis durch die

Zunge oder einen Stromanzeigapparat sogleich wieder schliesst, fand **Volta,** wie der Professor **Brugnatelli** (1761—1818) in Pavia mitteilte, die Ursache der später Polarisation genannten Verminderung des Stromes in den bei Zersetzung des Wassers seiner erregenden Flüssigkeit auftretenden Gasen. Die Entwickelung derselben musste also vermieden werden, wenn man eine konstante Säule erhalten wollte, und es lag demnach ein ganz richtiger Gedanke dem Versuche des Pariser Professors und Akademikers **Antoine César Becquerel** (1788—1878) zu Grunde, sie durch die Anwendung zweier mittels einer porösen Thonzelle getrennter Flüssigkeiten unmöglich zu machen. Aber dieser Versuch war noch nicht durch den gewünschten Erfolg gekrönt, vielmehr stellte die erste wirklich konstante Säule erst 1836 auf Grund der Arbeiten **Faradays** der Professor am Kings College in London **Daniell** her, indem er in einen mit Kupfervitriol gefüllten Kupfercylinder einen mit Schwefelsäure umgebenen Zinkstab setzte, die Flüssigkeiten aber durch die Membran einer Ochsengurgel trennte. Indem bald darauf das Mitglied der Royal Society der Londoner Kaufmann **Gassiot** (geb. 1797) nach **Becquerels** Vorgang statt der Membran eine poröse Thonzelle nahm, gab er dem Daniellschen Element seine auch jetzt noch gebräuchliche Form. Zwei Jahre später aber machte der Londoner Professor **Grove** (geb. 1811) seine ebenfalls konstante, aber kräftigere Säule bekannt, in der das Kupfer durch Platin, die Kupfervitriollösung durch konzentrierte Salpetersäure ersetzt ist. Die von **Sturgeon** 1830 bereits angegebene Amalgamation der Zinke war in beiden Säulen mit bestem Erfolg angewendet worden.

**Faradays** Versuche hatten die Annahme **Gilberts,** dass die Erde ein grosser Magnet sei, bestätigt. Eine regelmässige Verteilung des Magnetismus fand in ihr aber offenbar nicht statt. Es war also wünschenswert, diese zu untersuchen und dazu hatte bereits 1806 **Alexander von Humboldt** empfohlen, an verschiedenen Orten der Erdoberfläche zu derselben Zeit Beobachtungen der Magnetnadel anzustellen. Versuche, die magnetische Natur der Erde zu ergründen, lagen damals freilich schon vor. Wie **Kircher** in seiner „Ars magnetica“ mitteilt, hatte bereits im 17. Jahrhundert der Pater **Burrus** in Lissabon eine Karte gleicher Abweichungen der Nadel vom Meridiane konstruiert, um daraus die Länge eines Ortes zu bestimmen. Eine genauere Karte lieferte aus seinen Beobachtungen 1701 **Halley** und gründete darauf eine Theorie des Erdmagnetismus, die ihn vier Magnetpole in der Erde annehmen liess. **Euler** und **Tobias Mayer** bemühten sich dann durch theoretische Betrachtungen diese vier auf nur zwei zurückzuführen. Indem sie in die Mitte der Verbindungslinie derselben den Mittelpunkt der magnetischen Wirkung setzten, mussten sie aber diese Verbindungslinie und mit ihr ihre Mitte als veränderlich ansehen. Nachdem schon 1766 der ständige Sekretär der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm **Wilcke** die erste Karte gleicher Neigungen der Nadel veröffentlicht hatte, entwarf der Professor **Hansteen** in Christiania (1784—1873) 1819 auch die Linien gleicher Intensität und suchte darauf eine Theorie zu gründen, die den Magnetismus der Erde auf zwei exzentrisch in ihr liegende, aber nicht zur Oberfläche reichende Magnetstäbe zurückführte. Da auch diese Theorie den magnetischen Zustand der Erde nur ungenügend

wiedergab, so nahm im Anfange der 30er Jahre unseres Jahrhunderts der Göttinger Professor **Carl Friedrich Gauss** (1777—1855) die Sache in die Hand, die er in Verbindung mit seinem Kollegen **Wilhelm Weber** (1804—91) mit glänzendem Erfolg durchführte. Von armen Eltern abstammend hatte **Gauss** auf Kosten des Herzogs von Braunschweig seine Ausbildung empfangen. Seine mathematischen und astronomischen Arbeiten hatten ihn bereits den ersten Gelehrten an die Seite gestellt, als er 1807 als Professor nach Göttingen berufen wurde. 1831 bewirkte er die Berufung **Webers** zu der erledigten Professur der Physik daselbst, der kurz vorher mit seinem Bruder, dem Leipziger Professor **Ernst Heinrich Weber** (1795—1878) zum ersten Male eine vollständige Theorie der physikalischen Wellenlehre gegeben hatte. Behufs ausgebreiteter Beobachtungen, für die **Gauss** die Instrumente konstruiert hatte, wurde nun der magnetische Verein begründet, und 1840 konnte der grosse Mathematiker seine allgemeine Theorie des Erdmagnetismus herausgeben, die von der Annahme von Hilfsmagneten absah. Dabei geschahen die Messungen zum ersten Male nach absolutem Masse, welches alle anderen Grössen auf die Längen-, Zeit- und Massenmasse zurückführt und jetzt allgemein angenommen worden ist.

Eine für die Praxis besondere Wichtigkeit erhielten diese Arbeiten noch durch die Anwendung des ersten elektrischen Telegraphen mit nur zwei Verbindungsdrähten, den **Weber** 1833 einrichtete, als sich das Bedürfnis öfterer augenblicklicher Verständigung von der Sternwarte zum Physikalischen Kabinett ergab. Für die magnetischen Messungen hatte **Gauss** das Magnetometer eingeführt,

einen schweren, in seiner Mitte an einem oder zwei Drähten aufgehängten Magnetstab, an dessen Enden sich ein Spiegel befand, welcher später an dem Aufhängedraht angebracht wurde. Indem diesem Spiegel gegenüber, nach des Berliner Professors **Poggendorff** (1796—1877) Vorgang, eine Skala mit daneben befindlichem Fernrohr aufgestellt worden war, konnte man in ihm die bezeichneten Teilstriche

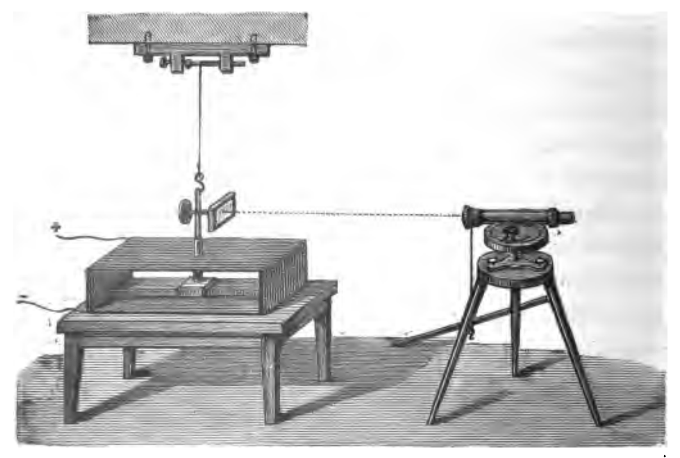


Fig. 56.

der Skala sehen und durch Beobachtung des jedesmal gespiegelten den Winkel, den derselbe mit einer bestimmten Anfangslage bildete, finden. Umgab man nun nach Anweisung der Fig. 56 den Magnetstab mit Drahtwindungen und schickte durch diese den Strom einer Batterie, so wurde er etwas abgelenkt und durch das Gesichtsfeld des Fernrohrs gingen andere, höher oder niedriger bezifferte Teilstriche, je nach der Bezeichnung der Skala und der

Richtung des Stromes. Befand sich nun auf beiden Stationen ein solcher Magnetstab und eine Batterie mit geeignetem Umschalter, so konnte jede den Strom in der einen oder andern Richtung in die Leitung schicken, den Magnet der andern aber nach rechts oder links ablenken. Diese Ablenkungen waren die Elementarzeichen und sie wurden nach vorheriger Verabredung zu Buchstaben vereinigt. So bedeutete eine Ablenkung rechts *a*, eine links *e*, zwei rechts *i*, eine links und eine rechts *u*, vier links die Zahl 9, eine links, eine rechts und eine links *m* u. s. w. Später ersetzten **Gauss** und **Weber** die Batterie durch den in der Figur dargestellten Induktionsapparat, einen kräftigen Magnet, über welchen eine Drahtspule von sehr vielen Windungen hin- und hergeschoben werden konnte. Die Drähte wurden auf den Dächern von Häusern, die auf ihrem Wege lagen, befestigt, später aber wieder abgenommen, als das Bedürfnis rascher Verständigung aufgehört hatte.

Die wohlgelungenen Versuche weiter zu führen gestatteten den beiden Göttinger Professoren ihre anderweitigen Arbeiten nicht. Da sie aber die Wichtigkeit derselben durchaus nicht verkannten, so forderte **Gauss** den damaligen Münchener Professor, spätern bayrischen Ministerialrat **von Steinheil** (1801—70) auf, die weitere Ausbildung des Telegraphen, namentlich für technische Anwendung, zu übernehmen und dies that der junge Gelehrte mit dem besten Erfolge. Die Form, welche er dem Apparate gab, zeigt Fig. 57 S. 242. Um das rechteckige Messinggehäuse *a* sind isolierte Drähte gelegt, deren Enden an den Kommutator *b* gehen. Innerhalb der Drahtwindungen werden

zwei Magnetstäbe um senkrechte Achsen drehbar so aufgestellt, dass in der Ruhelage ihre Längsachse der längern Seite von *a* parallel ist. Die beiden Magnete *c* halten sie in derselben. An den einander zugewendeten Seiten, also an den ungleichnamigen Polen tragen die in *a* befindlichen Magnete an Messingarmen zwei mit Farbe gefüllte Näpfchen, die unten durchbohrte Spitzen haben und, wenn sie durch einen *a* umkreisenden Strom nach vorn gedreht

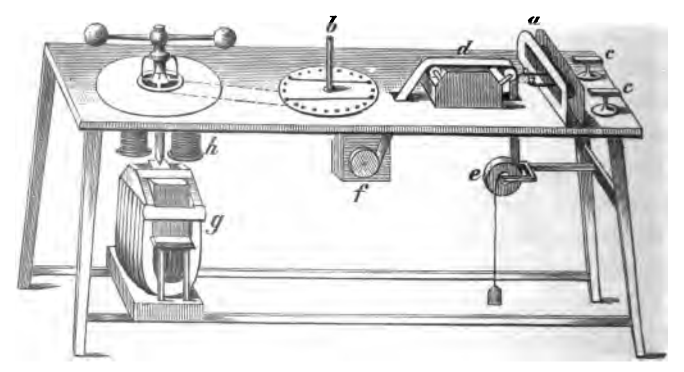



Fig. 57.

werden, auf den Papierstreifen, den das Uhrwerk *e* von der Rolle *f* abwickelt, farbige Punkte abdrücken. Da beide Magnete im gleichen Sinne abgelenkt werden, so geht immer nur das eine Näpfchen nach vorn, ein Stift hält zugleich den andern Magnet ab, nach hinten auszuschlagen. Je nach der Richtung des Stromes macht also immer nur ein Näpfchen einen Punkt auf das Papier. Soll eine Depesche aufgegeben werden, so wird der Kommutator *b* so gestellt, dass die Liniendrähte mit dem den

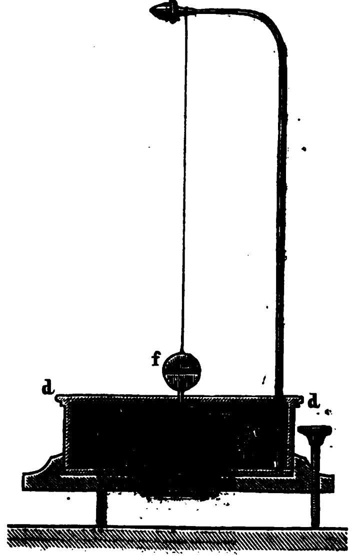
Strom durch Magnetoinduktion erzeugenden Teil des Apparates, der auf der linken Seite des Tisches angebracht ist, in leitende Verbindung kommen. Eine Drehung des Elektromagnets *h* über den Polen der Magnete *g* im einen oder andern Sinne genügt, um einen Strom in der einen oder andern Richtung in die Leitung zu schicken. Als Wecker konnte ein dritter Magnet dienen, der einen gegen eine Glocke schlagenden Hammer trug, wenn nicht das durch die bewegten Magnete hervorgebrachte Geräusch genügte.

Von der im allgemeinen für technische Anwendung zweckmässigeren Form abgesehen, stellte **Steinheils** Apparat einen höchst wichtigen Fortschritt gegen die früheren Ausführungen und Entwürfe dadurch dar, dass er den Bericht selbst aufschrieb. Dies war in so vollkommener Weise möglich, dass bei geringer Übung die Buchstaben wie die gewohnten gelesen und geschrieben werden konnten. So stellte z. B. die Figur .·. A, . E, · I, .·.· Sch, ··.. Z u.s.w. dar und ein Missverständnis auf der Empfangsstation, was bei den früheren Telegraphen nur zu leicht eintrat, war völlig ausgeschlossen. Aber auch eine weitere wesentliche Verbesserung brachte **Steinheil** an, auf die eine zufällige Beobachtung den aufmerksamen Experimentator hingewiesen hatte. Als im Jahre 1838 die erste Eisenbahn in Deutschland zwischen Nürnberg und Fürth gebaut wurde, erbat sich und erhielt **Steinheil** die Erlaubnis, zu versuchen, ob es nicht möglich sei, die beiden Leitungsdrähte durch die Schienen zu ersetzen. Diese Versuche ergaben ihm das gewünschte Resultat nicht, doch bemerkte er einmal bei Gelegenheit derselben, dass ein in die eine Schiene geschickter Strom

auf die andere hinübergetreten war. Da das nur durch die Erde geschehen sein konnte, so schloss er, dass diese die Rückleitung des Stromes übernehmen könne und dass demnach ein einziger Draht genüge, um auf beliebige Entfernungen Nachrichten zu vermitteln. Er führte dann mit bestem Erfolge seinen Telegraphen im grossen in München aus und es ist aufs höchste zu bedauern, dass die damals in Deutschland herrschenden Anschauungen eine Einführung in die Technik unmöglich machten. Die im höchsten Grade derselben würdige Erfindung erregte nicht das mindeste Interesse und es dauerte noch ein Jahrzehnt, bis man in Deutschland Telegraphen einführte, leider aber nicht Steinheilsche, sondern viel zusammengesetztere und weniger zweckmässige, die vor jenen nur das voraus hatten, dass sie weit her, aus England, zu uns kamen.

Die Weiterentwickelung des Telegraphen, deren Verdienst den Engländern zukommt, ging von einem Apparat aus, welchen der russische Staatsrat **Schilling von Canstadt** (1786—1837), angeregt durch die Arbeiten **Sömmerings,** bei dem er in München viel verkehrt hatte, etwa zu derselben Zeit herstellte, als der Webersche Telegraph bereits in Thätigkeit war. Nach seiner Rückkehr in sein Vaterland hatte **Schilling** mancherlei elektrische Versuche gemacht und es war ihm unter andern 1812 gelungen, mittels isolierter Drähte, die durch die Newa gelegt worden waren, Minen anzuzünden. Später hatte er es sich zur Aufgabe gemacht, einen Telegraphen zu bauen, und er hatte in einfacher Weise einen solchen erhalten, indem er auf den Faden, der die Nadeln *a* und *b* (Fig. 58) eines mit dem Drahte *c*

versehenen, in der Kapsel *d* eingeschlossenen Nobilischen Multiplikators trug, ein Papierscheibchen *f* geschoben, das auf der einen Seite einen senkrechten, auf der andern einen horizontalen Strich aufwies. Die Dämpfung wurde durch ein ebenfalls am Faden befestigtes Glimmerblättchen, welches in ein mit Öl gefülltes Gefäss tauchte, bewirkt. Den Strom lieferte eine in Fig. 59 S. 246 dargestellte Voltaische Säule, eine Kupferplatte *v* und eine Zinkplatte *w*, welche in aufrechter Lage von den Stäbchen *zz* gehalten wurden und zwischen sich einen mit verdünnter Schwefelsäure befeuchteten Tuchlappen hatten. Von den Metallplatten gingen Drähte zu zweien von vier ein Quadrat bildenden Quecksilbernäpfchen, während in die beiden anderen die Liniendrähte gelegt waren. In diese vier



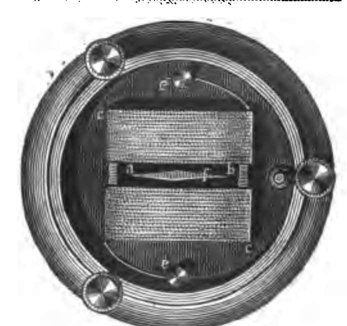



Fig. 58.

Näpfchen passten die an einem Brettchen mit Handgriff befindlichen Drähte *ru, ts* Fig. 60, deren Verbindungen sich unter dem Brettchen kreuzen oder bei einem zweiten ebensolchen Apparat parallel laufen, so dass sie zwischen *r* und *s*, *t* und *u* stattfinden. Jenachdem man den einen oder andern dieser beiden Apparate in die Näpfchen setzt, geht der Strom in der einen oder andern Richtung in die Liniendrähte, von dort in die Klemmschrauben *ee* des Apparates Fig. 58 und lässt somit die Nadeln in der einen oder andern Richtung ausschlagen.

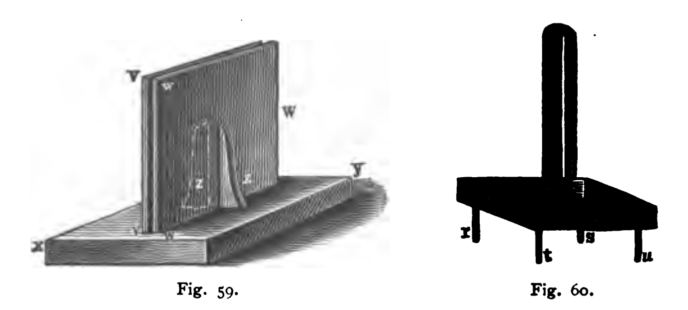



Fig. 59.

Fig. 60.

Setzt sich nun der Beobachter so, dass er auf die vordere Kante des Papierblättchens *f* sieht, so erscheinen, jenachdem die Nadel nach rechts oder links ausschlägt, die Zeichen | und —, und diese beiden gelten als Elementarzeichen. Als Wecker war ein dem Telegraphenapparat ähnlicher vorgesehen, nur war auf die Achse des Nadelpaares ein an seinen Enden kleine Gewichtchen tragender Draht aufgesetzt, welcher, wenn sie abgelenkt wurde, gegen ein ganz lose aufgestelltes, um den Endpunkt des Stieles drehbares Hämmerchen schlug, dieses herab- und ihn aus-

rückend auf den Hemmungshebel einer gewöhnlichen Weckeruhr warf, die nun zu klingeln anfing.

**Schilling von Canstadt** legte der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte, die im Jahre 1835 in Bonn tagte, seinen Apparat vor, ohne damit besonderes Interesse zu erregen. Solches bewies nur Professor **Muncke** aus Heidelberg (1772—1847), der, nach Hause zurückgekehrt, sich ein freilich sehr rohes Modell von dem Telegraphen machen liess und es in seinen Vorlesungen alljährlich als Merkwürdigkeit zeigte. So wenig praktischen Sinn aber hatte man zu jener Zeit in Deutschland, dass niemand daran dachte, die höchst brauchbare Idee nutzbar zu machen. **Schilling** selbst aber hinderte ein früher Tod an ihrer weitern Ausbildung und es wäre ihr wohl nicht anders ergangen, wie dem Apparate **Steinheils,** wenn sie nicht zufällig in **Munckes** Kolleg der Engländer **Cooke,** der nach Heidelberg gekommen war, um mit der Nachbildung anatomischer Präparate Geld zu verdienen, kennen gelernt hätte. In der sichern Hoffnung, dass die Ausbildung des neuen Apparates solche Zwecke weit leichter erreichen liess, eilte er in sein Vaterland zurück und verband sich dort mit dem früheren Verfertiger musikalischer Instrumente, dem nachherigen Professor **Wheatstone** (1802—75) zur Herstellung eines Telegraphen.

Nach einigen misslungenen Versuchen brachten sie Apparate zu stande, die sich gut bewährten. Sie behielten zunächst den Multiplikator bei, stellten aber ihn und die Nadel senkrecht auf, welche letztere ein kleines Übergewicht ihrer untern Hälfte in dieser Lage hielt. Ihre

Achse trug eine zweite Nadel, welche vor einem den übrigen Teil des Apparates verbergendem Zifferblatte sichtbar wurde. Der erste dieser Telegraphen, der Fünfnadeltelegraph, besass fünf solcher Multiplikatoren, deren Enden einerseits zu je einem vom Zeichengeber kommenden Draht gingen, anderseits an einen weitern gemeinschaftlichen Draht, der als sechster zum Zeichengeber zurückging, angeschlossen waren. Um einen Buchstaben zu telegraphieren wurde ein Strom um zwei Nadeln herumgeschickt, der sie so ablenkte, dass die Verlängerungen ihrer Zeigernadeln in einem Punkte des Zifferblattes zusammentrafen, an dem der betreffende Buchstabe aufgetragen war. Zur Übermittelung einer Zahl genügte die Ablenkung einer Nadel, deren Zeiger dann auf die am Rande des Zifferblattes angebrachte Ziffer wies. Die grosse Anzahl der notwendigen Leitungsdrähte hat diesen Apparat so recht zur Anwendung nicht kommen lassen. **Cooke** und **Wheatstone** ersetzten ihn bald durch den Einnadeltelegraph, der nur eine Drahtleitung brauchte, da die Erde als Rückleitung dienen konnte. Nach dem Vorgange von **Gauss** und **Weber** wurden die Ablenkungen im einen oder andern Sinne als Elementarzeichen benutzt. Da aber dabei, um einen Buchstaben zu telegraphieren, die Nadel meistens mehrmals abgelenkt werden musste, so kostete das Telegraphieren viel Zeit und die Erfinder wandten deshalb lieber die Verdoppelung des Apparates im Zweinadeltelegraphen an, der freilich zwei Leitungen erfordert, aber, da die Ablenkungen der Nadeln einzeln und zusammen verwendet werden können, rascheres Telegraphieren zulässt.

Ausgebreitetere Verwendung namentlich auch in Deutschland fanden die Zeigertelegraphen. Bei diesen bewegt sich ein rotierender Zeiger über ein Zifferblatt, auf dessen Rand die Buchstaben und Zahlen aufgetragen sind. Der erste dieser Apparate, den **Cooke** 1836 angab, bewährte sich nicht. Später nahm **Wheatstone** die Aufgabe mit besserm Erfolge in Angriff. Der gleichmässige Gang und das Anhalten der Zeiger in beiden Apparaten bewirkten Elektromagnete; der Strom wurde vielfach durch Induktion erzeugt. Obwohl diese Apparate nach mannigfachen Verbesserungen gut arbeiteten, sind sie gegenwärtig doch nur noch in ganz beschränktem Masse in Gebrauch und es verlohnt sich um so weniger, auf ihre Einrichtung einzugehen, als jetzt für telegraphische Zwecke fast ausschliesslich der Schreibtelegraph angewendet wird, den 1835 der amerikanische Maler **Morse** (1791—1872) erfunden hat. Das Prinzip, auf dem er beruht, ist durch Fig. 61 gegeben. Wird der Elektromagnet *E* durch einen seine Wicklung durchlaufenden Strom erregt, so zieht er seinen Anker *A* an. Da dieser aber an dem in *B* unterstützten zweiarmigen Hebel *AC* befestigt ist, so

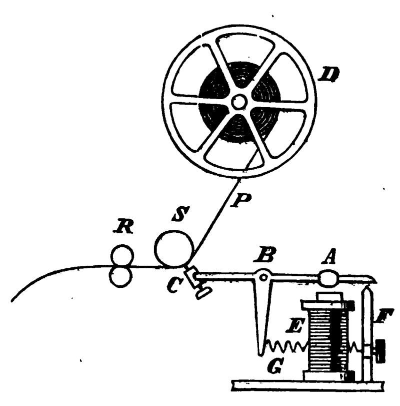


Fig. 61.

bewegt er *A C* und drückt den Stahlstift *C* gegen den Papierstreifen *P*, welcher auf die Rolle *D* aufgewickelt ist. Von dort geht der letztere über die rauhe Rolle *S*, die dem Stift *C* gegenüber eine Rille besitzt, und wird von den ebenfalls rauhen Rollen *R*, die eine Feder gegeneinanderdrückt, mitgenommen, sobald sie durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt werden, dessen Hemmung der Telegraphenbeamte auszurücken hat. Je nach der Länge des Stromschlusses drückt der Stift *C* in den Papierstreifen einen Punkt oder einen Strich und dieses sind die Elementarzeichen, aus denen **Morse** das Alphabet zusammensetzt, so dass z. B. · — a, — · · d, — — · — q u. s. w. bedeutet. Damit der Anker mit den Magnetpolen nicht in Berührung kommt und haften bleibt, stösst das Ende von *A C* vorher auf die Säule *F* auf, die Feder *G* aber, die nach Bedarf mittels einer Schraube zu spannen ist, zieht sofort den Stift vom Papierstreifen zurück, sobald der Elektromagnet stromlos wird. An dem einfachen Prinzip des Apparates hat die Folgezeit nichts verändert, wenn auch Einzelheiten verbessert wurden. Namentlich wurde der Stift durch ein Farbennäpfchen ersetzt, welches, wie es bereits **Steinheil** eingeführt hatte, statt vertiefter farbige Zeichen auf das Papier aufträgt. Mit demselben, nur wenig abgeänderten Apparate löste dann **Wheatstone** die Aufgabe, den Schreibapparat auch durch Ströme in Bewegung zu setzen, die so schwach sind, dass ihnen der Schreibhebel nicht mehr folgt. Er schaltete in den Linienstrom das Relais, einen Schreibapparat ohne Schreibstift und mit einem von sehr vielen Windungen dünnen Drahtes umgebenen Elektromagnet, ein, der auch durch einen sehr schwachen Strom noch erregt

werden kann. Der heruntergezogene Hebel stösst gegen einen Kontaktstift und schliesst dadurch eine zweite Batterie, welche stark genug ist, um den Schreibhebel in Bewegung zu setzen. Eines Weckers bedarf der Schreibtelegraph nicht; es genügt mehrmaliger Stromschluss, um den Relais- oder Schreibhebel zur Hervorbringung eines Geräusches zu veranlassen, welches den Beamten herbeiruft, um nach ausgelöstem Uhrwerk die Depesche aufzunehmen.

Mit der Konstruktion zweckmässiger Apparate waren aber keineswegs alle Schwierigkeiten, welche bei Telegraphenanlagen zu heben waren, überwunden. Es musste auch eine genügend isolierte und gegen zerstörende Einflüsse jeder Art geschützte Leitung hergestellt werden. **Cooke** und **Wheatstone** hatten anfangs unterirdische Leitungen angewendet, die Drähte in Kanäle gelegt, welche in ein Holzprisma hineingearbeitet und mit Pech vergossen worden waren. Aber das Pech wurde brüchig, das Holz faul. Eben so wenig bewährten sich mit Kautschuk verbundene Glasröhren oder Kautschukumhüllungen, die der russische Staatsrat **Jacobi** (1801—74) in Anwendung brachte. Man musste wieder zu den oberirdischen Leitungen von **Gauss**, **Weber** und **Steinheil** greifen. Dabei machte die Isolierung und die Notwendigkeit des Schutzes gegen Induktion durch atmosphärische Elektrizität solche Schwierigkeiten, dass **Werner Siemens** (geb. 1816), der früher Artillerieoffizier sich 1849 mit dem Mechaniker **Halske** zur Gründung einer Telegraphenbauanstalt vereinigte, eifrig nach einem Isolator suchte, der in der Erde ausdauerte. Er fand einen solchen

in der durch den englischen Arzt **Montgomery** in Europa 1843 eingeführten Guttapercha; Versuche, welche mit ihr in der Kieler Bucht angestellt wurden, bewiesen ihre Haltbarkeit, auch in Wasser, wenn sie mit einem Überzug aus Marineleim, Steinkohlenteer und Kolophonium versehen wurde, so dass man nun mit dem Bau unterirdischer Leitungen vorgehen konnte. Aber noch war **Siemens** mit der Ausführung der ersten derartigen Linie, Berlin-Grossbeeren, beschäftigt, als die Revolution des Jahres 1848 ausbrach und es höchst wünschenswert machte, Berlin so rasch wie möglich mit Frankfurt am Main telegraphisch zu verbinden. Die Betriebssicherheit der unterirdischen Leitung war noch zu wenig erprobt, als dass man sie hätte wählen können. Man entschied sich also für die oberirdische und ihre Isolierung gelang vollständig, nachdem man die Glas- oder Porzellanringe, mittels deren man anfangs den Leitungsdraht an die Stangen befestigt hatte, durch die von dem preussischen Telegraphendirektor **Chauvin** eingeführten Porzellanglocken, deren innere Fläche immer trocken bleibt, ersetzt hatte. Die Versuche, die auf der Linie Eisenach-Kassel-Frankfurt am Main angestellt wurden, ergaben, dass man die Leitung vor mutwilliger Zerstörung genügend schützen konnte, wenn man sie längs der Bahndämme führte und durch die Bahnwärter beaufsichtigen liess. Gegen die Ladungen durch die Influenzwirkungen der atmosphärischen Elektrizität hatte sich **Steinheil** schon durch Blitzableiter, Metallstücke, welche mit der Erde verbunden ebensolchen, die an den Drähten befestigt waren, in geringem Abstand gegenübergestellt wurden, geschützt. Professor **Meissner** am Collegium

Carolinum in Braunschweig gab diesen Metallstücken die Form von ebenen Platten oder Spitzen und die induzierte Elektrizität schlug vermöge ihrer hohen Spannung leichter über den kleinen Luftraum zwischen beiden über, als dass sie mit der strömenden den grossen Widerstand der vielen Drahtwindungen des Elektromagnets überwunden hätte. Die Gefahr des Umsturzes der Telegraphenstangen durch Stürme liess sich freilich nicht beseitigen und es ist bekannt, dass man namentlich aus diesem Grunde bei den grossen Neuanlagen unserer Zeit zu der unterirdischen Leitung zurückgekehrt ist, der solche Unfälle nicht zustossen können. Auch hat **Werner Siemens** 1850 ein Verfahren angegeben, das gestattet, mit Hilfe von Widerstandsbestimmungen bis auf einige Meter genau die Stelle zu ermitteln, wo das Kabel fehlerhaft geworden ist, ohne es vorher aufzugraben.

So war die Aufgabe der terrestrischen Telegraphie gelöst und man dachte daran, auch die schwierigere in Angriff zu nehmen, zwei durch das Meer getrennte Länder mit einander telegraphisch zu verbinden. Bereits 1840 hatte **Wheatstone** zuerst den Vorschlag gemacht, zwischen England und Frankreich eine Telegraphenleitung zu legen, aber damals war man nicht im stande dies auszuführen, da noch keine Möglichkeit bestand, das Kabel zu isolieren. Erst neun Jahre später legte man das erste Kabel in Seewasser und durch die damit gemachten günstigen Erfahrungen ermutigt, unternahm es 1850 **Brett**, ein solches in den Kanal zu versenken. Da er sich aber an einem nur mit Guttapercha überzogenen Kupferdraht genügen liess, so wurde es von der Brandung an der Küste rasch

durchgerieben, es zerriss und musste im folgenden Jahre durch ein anderes ersetzt werden, welches eine Umkleidung von Eisendrähten erhalten hatte. Da sich dieses bewährte (und bis zum heutigen Tage bewährt hat), so ging man nun mit der Legung weiterer Kabel, zunächst im Mittelmeere, vor. 1854 aber glaubte **Field** die Legung eines Kabels zwischen Europa und Amerika in Angriff nehmen zu können. Man begann damit, 1856 eine telegraphische Verbindung zwischen Neufundland und dem amerikanischen Festland herzustellen und ging darauf zur Untersuchung des Bodens des nördlichen atlantischen Ozeans über. Glücklicherweise fand man ihn von ziemlich gleichmässiger, verhältnismässig geringer Tiefe zwischen Irland und Neufundland, und nennt seitdem diesen Teil des Ozeans im Gegensatz zu benachbarten, viel tieferen Stellen das Telegraphenplateau. Eine von **Field** gebildete Gesellschaft brachte nunmehr die erforderlichen Mittel zusammen und 1857 begann man mit der Legung des Kabels, das mit Eisendrähten umgeben war, welche in der Nähe der Küste als grössten Durchmesser 8 *mm* hatten. Aber das Unternehmen wurde nicht von Erfolg gekrönt, das Kabel riss und musste aufgegeben werden. Indessen wurde ein neues hergestellt und im folgenden Jahre die Legung von neuem vorgenommen mit der Abänderung, dass jetzt dieselbe mitten auf dem Ozean mit dem Versenken begann. Diesmal schien der Versuch geglückt; nachdem die Kabelenden an die Küstenleitungen an beiden Seiten angeschlossen waren, konnte man sich über den Ozean hin verständigen, leider nur für kurze Zeit, dann blieb das Kabel trotz alles weitern Experimentierens stumm. Doch war

durch dieses zweite Kabel die Möglichkeit des Unternehmens bewiesen. Es wurden wiederum Zahlungen ausgeschrieben und wenn auch die Zeichnungen nur langsam erfolgten, so war man doch im Sommer 1865 zu einer neuen Kabellegung bereit. Das Kabel wurde in dem glücklicherweise verfügbaren Riesenschiff Great Eastern untergebracht, wo es, was für seine Isolierung wesentlich war, fortwährend sich im Wasser befand, die für das Auslegen bestimmten Maschinen waren entsprechend verbessert, trotzdem riss auch diesmal das Kabel wieder und man musste zur Herstellung eines vierten schreiten. Im Jahre 1866 wurde dieses gelegt und endlich gelang das Riesenunternehmen vollständig, so dass im August das Kabel dem allgemeinen Verkehr übergeben werden konnte. Man holte nun trotz der grössten Schwierigkeiten das Kabel von 1865 wieder aus der See. Es war ganz unversehrt und völlig benutzbar, so dass die telegraphische Verbindung zwischen der alten und neuen Welt sogleich eine doppelte wurde. Seitdem sind eine Anzahl weiterer Kabel durch den atlantischen Ozean gelegt. Die Firma **Siemens brothers** in Woolwich bei London, der lange Jahre Sir **William Siemens** (1822—83), der Bruder von **Werner,** vorstand, hatte sich in den Stand gesetzt, dies mit aller Sicherheit ausführen zu können, und eine neue Kabellegung bietet gegenwärtig so wenig Schwierigkeiten, dass sogar die Zeitungen sie einer besondern Berücksichtigung nicht mehr für wert erachten.

Die gewöhnlichen Telegraphenapparate liessen sich bei der transatlantischen Telegraphie freilich nicht verwenden.

Die Ströme, die sie erfordern, sind zu stark. Solche sind in doppelter Hinsicht zu vermeiden, denn einmal gefährden sie die Isolierungsfähigkeit des Kabels und zum andern würden sie nur unsichere Signale geben, da das Kabel in dem leitenden Meerwasser eine Verstärkungsflasche darstellt, die bei jedem Durchgange des Stromes erst geladen werden muss. Deshalb ging der Glasgower Professor **William Thomson** (geb. 1824), der die Einrichtung der

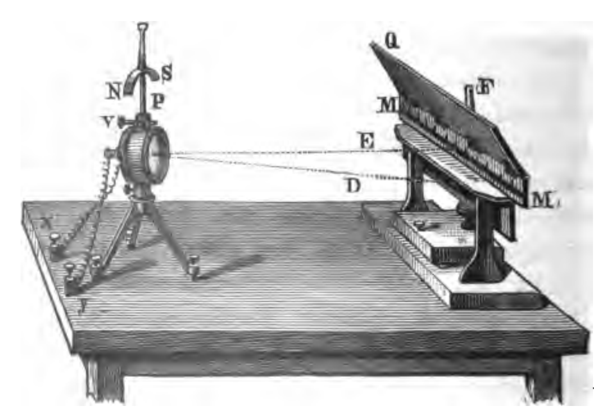



Fig. 62.

transatlantischen Telegraphenapparate übernommen hatte, auf die Einrichtung von **Gauss** und **Weber** zurück, die er nur dem besondern Zwecke anpasste. Den von ihm angegebenen Apparat zeigt Fig. 62. Der sehr kleine, an einem Kokonfaden aufgehängte Magnet befindet sich in dem die Dämpfung bewirkenden Messinggehäuse, um welches die Spule gewickelt ist, deren Enden zu den Klemmen $xy$ gehen. Das Messinggehäuse ist an der

Stange *P* befestigt, und kann um sie mittels der Mikrometerschraube *v* gedreht werden. An dem obern Teile der Stange *P*, die auf einem Dreifuss ruht, ist ein Richtmagnet *NS* angeschraubt, mit dessen Hilfe man den Magnet des Galvanometers in eine bestimmte Lage bringen kann. Ihm gegenüber ist die Skala *MM* aufgestellt, die oberhalb *D* in einem Spalt einen gespannten Draht trägt. Eine hinter ihm aufgestellte Petroleumlampe *F* macht ihn sichtbar und ein am Magnet angebrachtes Hohlspiegelchen wirft sein Bild auf die Skala. Der um Charniere drehbare Schirm *Q* dient dazu, das Licht der Lampe und seine Reflexe von der Skala abzuhalten. Denselben Zweck erfüllt das Brettchen unter der Skala. Als Elementarzeichen gelten Ablenkung rechts und links und um beide mit Sicherheit zu erhalten, sowie Schwankungen des Magnets nach dem Ausschlag zu vermeiden, müssen abwechselnd positive und um es kurz so auszudrücken negative Ströme von genau bestimmter relativer Länge durch das Kabel geschickt werden. Sie entstammen zwanzig Daniellschen Elementen, deren Zinke in reines Wasser gestellt werden. Zersetzung des Kupfervitriols lässt dieses jedoch sich rasch ansäuern. Etwa 27 Buchstaben können in einer Minute übermittelt werden.

Durch das Vorgehen des deutschen Generalpostmeisters **Stephan** ist dem Telegraphen in dem Fernsprecher ein Apparat an die Seite getreten, welcher erlaubt, auf grössere Entfernungen sogar Unterhaltungen zu führen. 1860 von dem Lehrer eines Privatinstitutes in Friedrichsdorf bei Homburg vor der Höhe **Philipp Reis** (1834—74) erfunden, war der Apparat anfangs nur im stande Gesang

oder den Klang von Instrumenten zu übertragen und auch das nur in so unvollkommener Weise, dass sich die Physiker zunächst ablehnend dagegen verhielten. Die Form, welche **Reis** zuletzt seinem Apparate gab, zeigt Fig. 63. *A* ist der Geber, *C* der Empfänger, bei *B* befindet sich eine Batterie von drei bis vier mittelgrossen Bunsenschen Elementen, die sich von den Groveschen nur dadurch

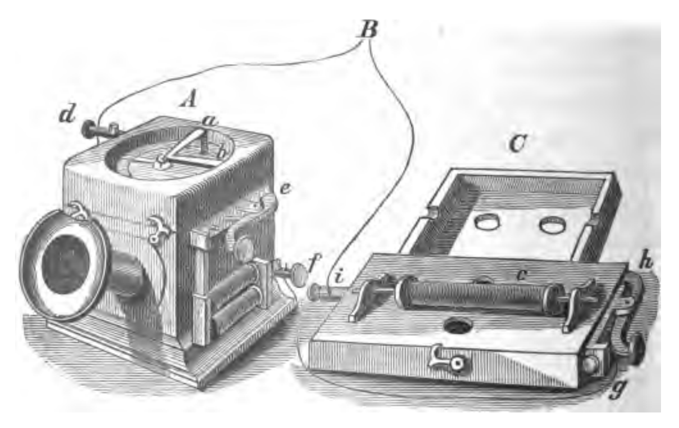



Fig. 63.

unterscheiden, dass bei ihnen das Platin durch Kohle ersetzt worden ist. In den Schalltrichter, der an der Seite des hohlen Kastens des Gebers sich befindet, wird die zu übertragende Melodie hinein gesungen und setzt die im Deckel befindliche gespannte Membran in schwingende Bewegung. Diese trägt das mit der Klemmschraube *d,* welche mit der Batterie in Verbindung ist, verlötete Kupferstreifchen, das in ein Platinscheibchen endet. Durch

die Schwingungen der Membran kommt dieses in rhythmische Berührung mit dem Platinstiftchen, welches an dem Metallwinkel *ab*, der bei *a* durch eine Spiralfeder, bei *b* durch eine Schraube gehalten wird, sitzt, und bewirkt bei jeder Berührung, dass der Strom durch den Telegraphentaster *e*, den darunter befindlichen Elektromagnet und die Klemmschraube *f* zu dem Taster *gh* in *C* geht. Von dort begiebt er sich durch den Elektromagnet *c*, dessen Kern eine Stricknadel ist, über *i* zur Batterie zurück, was nötigenfalls auch durch die Erde geschehen kann. *c* liegt auf einem Resonanzkasten, über den der in der Figur geöffnet gezeichnete Deckel gesetzt wird. Die Stricknadel in *c* wird dann in demselben Rhythmus magnetisiert und entmagnetisiert, in welchem die Schwingungen der Membran erfolgen, und setzt dadurch den Resonanzkasten in *C* in Schwingungen, die durch Übertragung an die Luft die nämlichen Töne hervorrufen, wie die, welche in *A* hereingesungen wurden. *e* und *h* dienen als Wecker und geben Gelegenheit sich zu überzeugen, dass die Stromleitung in Ordnung ist. Wird nämlich der Strom durch *e* geschlossen, so bringt er in *C* ein deutliches Ticken hervor, indem *c* magnetisch wird. Schliesst man ihn in *h*, so zieht der Elektromagnet in *A* seinen Anker an und giebt ein ähnliches Geräusch.

Das Reissche Telephon überträgt so viele Nebengeräusche und giebt dadurch gesprochene Worte so undeutlich wieder, dass der Generalpostmeister des Deutschen Reiches dem Reichskanzler niemals darüber behufs Einführung in den Verkehr berichtet hätte. Dazu bewog ihn erst der ungemein verbesserte Fernsprecher, den der

amerikanische Professor **Bell** 1877 bekannt gemacht hatte. Dieser erzeugt seine Ströme selbst, indem eine aus Eisenblech bestehende Membran vor den Polen eines Magnets, sich ihnen nähernd und von ihnen entfernend, schwingt und so seinen Magnetismus in dem Rhythmus der Schwingungen verstärkt und schwächt. Dadurch werden in einer Drahtspule, welche den der Membran zugewandten Magnetpol umgiebt, Induktionsströme hervorgerufen, die die Spule eines zweiten, dem ersten gleichen Apparats umkreisen und dadurch den Magnetismus des Magnets entsprechend ändern. Die auf solche Weise in Schwingungen versetzte Platte des zweiten Apparates, welche denen der Platte des ersten gleich sind, bringt dann dieselben Laute, wie jene, zu Gehör. Später angebrachte wesentliche Verbesserungen haben den Apparat so empfindlich gemacht, dass es möglich gewesen ist, in London gesprochene Worte in Marseille zu verstehen.

In dem Bellschen Telephon werden Ströme erhalten, die Änderungen in der Stärke von Magneten hervorrufen. Es war das indessen nicht der erste Fall der Nutzbarmachung dieser Art der Elektrizitätserzeugung. Da auch Ströme entstehen, wenn ein mit Draht umwundener Eisenkern sich vor den Polen eines Magnets hinbewegt, so schien es möglich, sich von den unbequemen Elementen durch Konstruktion einer solchen Maschine zu befreien oder auch den Strom umgekehrt zur Hervorbringung einer mechanischen Bewegung zu benutzen. Die erste für solche Zwecke bestimmte magnetelektrische Maschine stellten 1833 unabhängig von einander sogleich nach **Faradays** Entdeckung der Magnetoinduktion der

Pariser Mechaniker **Pixii** und der Londoner Professor **Ritchie** (gest. 1837) her. Bei **Pixiis** Apparat drehte sich ein hufeisenförmiger permanenter Stahlmagnet über einem ebenso gestalteten Elektromagnet, während ihre Pole einander zugekehrt waren. Die Maschine gab also bei der Drehung in den Spulen des Elektromagnets aufeinanderfolgende Stromstösse von wechselnder Richtung, Wechselströme, die durch einen später von **Ampère** zugefügten Stromwender gleich gerichtet wurden. **Ritchies** Maschine dagegen hatte den Stromwender von vornherein, auch stand bei ihr der Stahlmagnet fest, während sich der Elektromagnet drehte. Verbesserungen, die **Werner von Siemens** 1857 anbrachte und die eine vorteilhaftere Ausnutzung des Magnetismus zum Zweck hatten, machten die Maschine zur Erzeugung des Stromes, z. B. für Telegraphen, recht wohl verwendbar. Ein stärkerer Strom, welcher zur Hervorbringung des Davyschen Lichtbogens ausreichte, liess sich aber nur von ihr erhalten, wenn man sie, wie dies 1863 die Gesellschaft **Alliance** that, in unverhältnismässig grossen Abmessungen herstellte. Doch nützte sie ihren Magnetismus weder vorteilhaft aus, noch liess sie ihn seine ursprüngliche Stärke behalten, weil Stahlmagnete nie auf das Maximum ihres Magnetismus gebracht werden können, den ihnen erteilten Magnetismus mit der Zeit auch mehr oder weniger wieder verlieren. Man musste deshalb die Magnete durch Elektromagnete zu ersetzen suchen, bei denen diese Übelstände nicht vorhanden sind, und dieses Ziel erstrebte der Londoner Mechaniker **Wilde**, als er 1866 zwei Maschinen derselben Bauart, von denen die grössere einen Elektromagnet hatte, der von der kleinern, mit Stahlmagneten

versehenen gespeist wurde, mit einander verband. Erhielt er so auch stärkere Ströme, so hatte er die gerügten Fehler keineswegs beseitigt und von einer Verwendung seiner Maschine konnte nicht mehr die Rede sein, als in demselben Jahre 1866 eine Erfindung von **Werner von Siemens** alle diese Mängel abstellte.

Mit dem Strom einer Batterie war ein den Magnet einer magnetelektrischen Maschine ersetzender Elektromagnet nicht zu speisen, weil in dem seinen Eisenkern, den Anker, umwindenden Draht bei der Drehung der Maschine Ströme erregt werden mussten, welche den Batteriestrom fortwährend schwächten. Würde aber eine besondere Kraft die Maschine im entgegengesetzten Sinne in Drehung versetzen, so träte das Gegenteil ein, der Maschinenstrom würde den Batteriestrom verstärken, dadurch den Elektromagnet stärker erregen, dieser würde dann wieder einen stärkern Ankerstrom liefern und so fort; es würde die Batterie entbehrlich sein, sobald die Maschine auch ohne sie Ströme lieferte, die sehr bald eine solche Stärke erreichen müssten, wie sie auf andere Weise nicht erhalten werden könnte. Wenn der Eisenkern des Elektromagnets nur ein wenig Magnetismus besässe, so würde der von ihm induzierte Strom ganz an Stelle des Batteriestromes treten können, um in kurzer Zeit einen mächtigen Strom zu liefern. Da jedes Eisen Spuren von Stahl enthält, und ihm somit, wenn es einmal magnetisch gewesen ist, geringe Mengen von Magnetismus bleiben, so ist es nur nötig, durch eine solche Maschine einmal einen Batteriestrom zu senden, um von ihr künftighin, sobald sie in Drehung versetzt wird, Strom zu erhalten.

Dies Prinzip, welches sein Erfinder das dynamoelektrische nannte, und auf welches, wiewohl später, selbständig auch **Wheatstone** gekommen zu sein scheint, ermöglichte die Erzeugung von Strömen, welche für jede elektrische Beleuchtung hinreichend waren. Sogleich nach seiner Aufstellung prüfte es **Siemens** durch Versuche und diese gelangen so über Erwarten gut, dass nach wenigen Umdrehungen die isolierende Umhüllung der Drähte, welche für solche Versuche nicht dick genug genommen waren, infolge übermässiger Erhitzung verkohlte. Da aber auch das Eisen des Ankers eine gefährliche Temperaturerhöhung zeigte, so musste **Siemens** darauf verzichten, seine magnetelektrische Maschine lediglich mit doppelt **T**-förmigem Anker durch Austauschen des Magnets gegen einen Elektromagnet zu einer dynamo-elektrischen zu machen. Indessen ergab sich bald, dass hieran nur die Form des Ankers schuld war. Sie brachte es mit sich, dass derselbe bei jeder Umdrehung zweimal plötzlich seinen Magnetismus ändern musste, diese Erkenntnis aber gab sofort Mittel zur Abhilfe an die Hand. Der Oberingenieur der Firma **Siemens & Halske: von Hefner-Alteneck** (geb. 1845) ersetzte 1872 in einfachster Weise den doppelt **T**-Anker durch einen hohlen eisernen Cylinder, über dessen Mantel die Drähte seiner Achse parallel gewickelt wurden, und vermied so mit beim plötzlichen Polwechsel die gefährliche Erhitzung. Im folgenden Jahre machte auf der Wiener Weltausstellung eine andere Lösung der Aufgabe Aufsehen, die der frühere Arbeiter in den Werkstätten der Alliance **Gramme** bereits 1868 gefunden hatte. Er hatte den ringförmigen Anker, der 1864 von dem Turiner Professor **Pacinotti**

beim Baue einer magnetelektrischen Maschine verwendet worden war, herübergenommen, und da beide Konstruktionen sich gleich gut bewährt haben, neue aber nicht hinzugekommen sind, so zerfallen seitdem die dynamoelektrischen Maschinen in die beiden grossen Gruppen der mit dem Trommel- und der mit dem Ringanker versehenen. Auf ihnen beruht der Teil der Elektrotechnik, der starke Ströme verwendet.

Ehe wir zu der Betrachtung ihrer staunenswerten Leistungen, soweit dieselben in unsere Darstellung gehören, übergehen, sei kurz noch die der Dynamomaschine insofern ähnliche Influenzmaschine erwähnt, als dieselbe durch Aufwand von mechanischer Kraft ebenfalls Elektrizität, allerdings statische Elektrizität, erzeugt. Bei ihrer gewöhnlichen Form, die unabhängig von einander der damalige Dorpater, jetzt Dresdener Professor **Töpler** und der Greifswalder Professor **Holtz** (geb. 1836) angegeben haben, muss einem vor einer rotierenden Glasscheibe aufgestellten unterbrechbaren Konduktor eine schwache Ladung erteilt werden, die aus den der Scheibe zugekehrten Spitzen ausströmende Influenzelektrizität wird von der Glasscheibe aufgenommen und influenziert, indem sie durch die Drehung fortwährend verstärkt wird, die beiden ihr zugewandten Teile des Konduktors immer wieder von neuem, so dass an seiner Unterbrechungsstelle ein dauernder Funkenstrom übergeht. **Töpler** hat dann die Maschine dahin abgeändert, dass ein Rest ihr verbliebener Elektrizität hinreicht, sie zu laden, sobald die Glasscheibe in Drehung versetzt wird, und sie so der Dynamomaschine noch ähnlicher gemacht.

Die ersten Versuche, den Davyschen Lichtbogen zur Beleuchtung im grossen zu verwenden, gehen in das fünfte Jahrzehnt unseres Jahrhunderts zurück. Da man auf den Strom einer sehr kräftigen Batterie angewiesen war, so konnte das Bogenlicht nur bei einzelnen Gelegenheiten angewendet werden, bei denen es auf die Kosten nicht ankam. Es brannte mit gleichbleibender Helligkeit, seit der Physiker der Pariser Sternwarte **Foucault** (1819—68) mit Hilfe des Mechanikers **Duboscq** (gest. 1886) einen Apparat konstruiert hatte, der selbstthätig die Kohlenspitzen immer um ebensoviel einander wieder näherte, als sie sich infolge ihrer langsamen Verbrennung von einander entfernten. Da nun der Widerstand des Lichtbogens mit seiner Länge wächst, die Lichtstärke einer gut regulierenden Lampe aber nur dann die nämliche bleibt, wenn die Stärke des sie speisenden Stromes sich nicht ändert, so war es nicht möglich, mehrere Lampen in demselben Stromkreise brennen zu lassen. Denn eine sich selbst regulierende Lampe ändert fortwährend die Stärke des Stromes, in dem sie brennt. Das elektrische Bogenlicht konnte aber nur dann mit Vorteil in Gebrauch genommen werden, wenn mehrere Lampen durch denselben Strom versorgt wurden. Der in Paris lebende Russe **Jablochkoff** suchte dieses dadurch zu ermöglichen, dass er durch zwei nebeneinander senkrecht aufgestellte Kohlenspitzen, die durch Kaolinmasse von einander getrennt waren, Wechselströme gehen liess. Der sich zwischen beiden bildende horizontale Lichtbogen schmolz die isolierende Substanz in dem Masse, als die Kohlen abbrannten, herab und indem kein Grund zur Änderung der Stärke eines Stromes vorhanden war,

auch wenn mehrere solcher Kerzen in ihm brannten, so war auf solche Weise die Aufgabe der Teilung des elektrischen Lichtes zum ersten Male gelöst. Mehrere Unvollkommenheiten aber, die dieser Lösung anhafteten, liessen sie sogleich verlassen, als **von Hefner-Alteneck** in seiner Differentiallampe ein viel vollkommneres Mittel zur Teilung des elektrischen Lichtes fand. Ihr Prinzip ist durch Fig. 64 dargestellt. Von den beiden Kohlenspitzen ist die untere fest, während die obere an einem in *a* unterstützten zweiarmigen Hebel hängt, dessen anderer Arm einen Stab von weichem Eisen trägt. Mit seinen beiden Enden ragt dieser Stab in zwei Drahtspulen, von denen die obere aus vielen Windungen dünnen, die untere aus wenigen dicken Drahtes besteht. Der eintretende Strom teilt sich bei *b* und kann beide Spulen durchlaufen. Fliesst er durch die obere, so gelangt er um die Kohlenspitzen herum bei *c* in die Fortsetzung der Leitung, fliesst er dagegen durch die untere, so gelangt er ebendahin durch die Kohlenspitzen, indem er den Lichtbogen hervorruft. Je nach der Grösse des Widerstandes, den ihm beide Wege entgegensetzen, wählt er den einen oder den andern. Wird durch zu

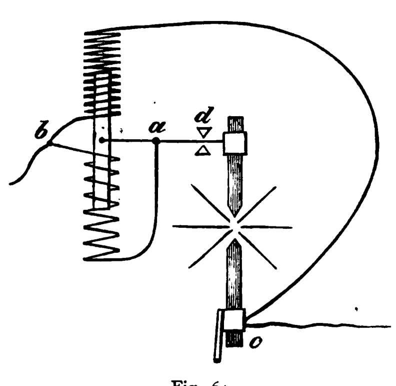


Fig. 64.

grosse Entfernungen der Kohlenspitzen im untern Stromkreis der Widerstand zu gross, so wählt er den obern, macht die Spule dünnen Drahtes magnetisch und veranlasst sie den Eisenstab in sich hineinzuziehen. Dadurch wird aber der obere Kohlenstab, nötigenfalls bis zur Berührung, zum untern gesenkt und der nunmehr verminderte Widerstand lässt den Strom den Weg durch den dickern Draht wählen. Sogleich senkt sich der Eisenstab in diesen und die obere Kohlenspitze wird wieder so lange gehoben, bis der zu gross werdende Widerstand Ursache wird, sie von neuem zu senken. So wird der Abstand der Kohlenspitzen fortwährend reguliert. Um aber die Kohlenspitzen noch weiter nähern zu können, als der durch die Hemmstifte *d* begrenzte Hub des Hebels zulässt, besitzt die Lampe ausserdem einen besondern Mechanismus, der den obern Kohlenstab so lange langsam sinken lässt, als der Hebel an dem untern Hemmstift anliegt.

Die Teilung des elektrischen Lichtes hat keine Schwierigkeit, wenn man einen starken Strom anstatt durch zwei Kohlenspitzen durch einen dünnen Draht eines nicht leicht schmelz- und oxydierbaren Stoffes gehen lässt, der durch seinen starken Widerstand zu heller Weissglut erhitzt wird. Der amerikanische Elektriker **Edison** (geb. 1847) suchte 1879 auf diesem Wege elektrisches Licht zu erhalten, indem er, wie bereits andere Forscher vor ihm, dünnen Platindraht anwendete. Aber, wie jene, scheiterte auch er daran, dass der Draht schmolz und so ersetzte er ihn 1880 durch künstlich dargestellte dünne Kohlenfäden, die er in einem luftleer gemachten Glasgefäss

glühen liess. Seitdem ist neben dem Bogenlicht das Glühlicht in ausgebreitete Verwendung gekommen.

Bei so grossem Verbrauch von Elektrizität war es sehr wünschenswert, sie aufbewahren zu können. Auch diese Aufgabe hat die Elektrotechnik gelöst, in ganz anderer Weise freilich, als man vermuten sollte. Der Pariser Elektriker **Planté** (1834—89) benutzte dazu die galvanische Polarisation, indem er dafür sorgte, dass der bei der Wasserzersetzung gebildete Sauerstoff nicht entwich. Er stellte zwei Bleiplatten in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäss und liess einen Strom durch sie hindurchgehen. Der abgeschiedene Sauerstoff oxydierte dann die eine dieser Platten. Nach Ausschaltung der Stromquelle wird die Platte wieder reduziert und der Apparat ist im stande, Strom zu liefern. **Plantés** Erfindung hat allerdings manche Änderung durchmachen müssen, um zu dem brauchbaren Apparate der jetzigen Akkumulatoren oder Sekundärbatterien, zu werden.

So ist die Elektrotechnik, trotz ihrer Jugend, dank der Vielseitigkeit der Elektrizität, in unseren Tagen einer der wichtigsten Zweige der Technik überhaupt geworden. Sie verbreitet Nachrichten mit Gedankenschnelle, sie versorgt mit Licht, sie übernimmt die Bewegung von Maschinen, auch wenn sie sich in grosser Entfernung von der Kraftquelle befinden, sie schlägt Metalle aus ihren Lösungen nieder, entweder als Überzüge anderer in ganz dünnen Schichten, oder aber, indem sie sogar wohl ihre Lösung aus den Erzen selbst besorgt, in dicken Platten, die keine fremden Bestandteile mehr enthalten. Sie treibt den Gerbstoff in das Leder, entwickelt Chlor zur Bleiche,

schweisst Metalle u. s. w. … dass je nach der von den Grenzen ihrer L… …urchdringen … Sache

Schliessen diese ihre An… …zu- an, so verhält es sich nicht… ihrem Wesen. Ehe wir aber… wir erst die Ansichten vom W… Wärme, zu welchen sich uns… gearbeitet hat, kennen zu lernen. … hielt man beide, wie wir wissen, … Stoffe und es ist ein eigentümliches Zusam…en, dass **Malus** (1775—1812), der als Kapitän den ägyptischen Feldzug mitmachte, dabei beinahe ein Opfer der Pest geworden wäre, an deren Folgen er als Major und Examinator an der Polytechnischen Schule zu Paris starb, nachdem er als äusserste Konsequenz der Stofftheorie des Lichtes dasselbe für eine eigentümliche Verbindung von Wärme und Sauerstoff erklärt hatte, die Entdeckung machen musste, die den Sturz dieser Theorie herbeiführen sollte.

Zur Zeit dieser Entdeckung war jedoch der erste Schlag gegen die Ansicht, die das Licht für bewegten Stoff hielt, gegen die Emissionstheorie **Newtons**, bereits, wenn auch ohne sonderlichen Erfolg, geführt. Er war 1801 von einem durch seltene Vielseitigkeit ausgezeichneten englischen Gelehrten, von dem Londoner Arzt **Thomas Young** (1773—1829), ausgegangen, und bestand in der Ableitung der Farben, welche den Seifenblasen und anderen dünnen Blättchen ihr schönes Aussehen verleihen, der Newtonschen Farbenringe und der Grimaldischen Beugungsstreifen, alles Erscheinungen, für welche der Emissions-

glühen liess. Ringen fehlten, aus den Annahmen der Glühlichttheorie. Hatte **Hooke** eine ähnliche Erklärungs-Bei[illegible]ohl versucht, so bildete sie **Young** näher aus und wü[illegible]te, dass diese Erscheinungen durch Interferenz der Lichtwellen entstehen. Sie haben das Gemeinsame, dass bei ihnen dunkle und helle Streifen mehr oder weniger regelmässig abwechseln. In jenen kommen zwei Strahlen an, die einen Wegunterschied von 1/2, 3/2, 5/2 u. s. w. Wellenlängen aufweisen und also die Bewegung der Ätherteilchen aufheben, indem sie dieselben in entgegengesetzte Richtungen zu treiben suchen, in diesen solche, deren Wegunterschied von einer oder mehreren ganzen Wellenlängen die Schwingungen verstärkt. Leider versäumte **Young** bei ihrer ersten Veröffentlichung diese Ansicht durch Versuche und Messungen zu begründen und dadurch seiner Arbeit grössere überzeugende Kraft zu sichern. Als er solche mit Beugungserscheinungen ausgeführte dann 1805 nachträglich beibrachte, war es zu spät, sie erregten keine Aufmerksamkeit mehr. So kam es, dass seine Arbeiten nur wenig Eindruck machten, **Newtons** Lehre unerschüttert blieb.

Wie gering dieser Eindruck war, sollte sich 1808 zeigen, als **Malus** die von ihm zufällig entdeckte auffallende Erscheinung, dass von den Fenstern des Louvre zurückgeworfenes Sonnenlicht verschwand, wenn man es durch einen in bestimmter Lage gehaltenen doppeltbrechenden Krystall fallen liess, aus der Emissionstheorie vergeblich zu erklären suchte. Die Lichtteilchen sollten Pole besitzen, wie ein Magnet, und diese sollten Ursache der Erscheinung, die deshalb Polarisation des Lichtes

genannt wurde, in der Weise werden, dass je nach der Lage desselben das Licht den Krystall durchdringen könnte oder nicht. Bei weiterem Verfolgen der Sache fand **Malus** einfachere Mittel, polarisiertes Licht herzustellen, indem er es unter einem für jede Substanz eigentümlichen Winkel auffallen, und von ihrer Oberfläche reflektieren oder eine genügend dicke Schicht derselben durchlaufen liess. War die Schicht nicht dick genug oder fiel das Licht unter einem andern Winkel auf, so wurde es nur teilweise polarisiert.

Die Erklärung der Polarisation machte freilich der Undulationstheorie des Lichtes nicht geringere Schwierigkeiten wie ihrer Gegnerin, so lange sie longitudinale Schwingungen annahm. War es doch gerade diese Erscheinung gewesen, die **Huygens** bei Aufstellung derselben hatte unerklärt lassen müssen. Doch erkannte 1817 **Young**, dass die Annahme transversaler Schwingungen alle diese Schwierigkeiten beseitigte. Da aber dieser Annahme beträchtliche mechanische Bedenken entgegenstanden, so nahm der englische Gelehrte sie nur als eine Hilfshypothese an und verkannte, dass die Erscheinungen der Polarisation sie geradezu forderten. So war es nicht zu verwundern, wenn auch diese Arbeit die Emissionstheorie nicht erschütterte. Das Verdienst, sie gestürzt zu haben, gebührt deshalb nicht **Young**, es gehört einem französischen Ingenieur, es gehört **Augustin Fresnel** (1788—1827).

Ein Vortrag **Biots** (1774—1862), der sein Leben lang Anhänger der Emissionstheorie des Lichtes blieb, hatte 1814 **Fresnel** zuerst auf die Polarisation aufmerksam

gemacht. Da er damals als Ingenieur in Nyons angestellt war, so fehlten ihm alle Hilfsmittel, sich weiter über die neue Erscheinung zu unterrichten. Er erbat und erhielt solche aus Paris. Aber nach kaum acht Monaten hatte er sich bereits so vollständig mit ihr vertraut gemacht, dass er mit einer Reihe von experimentellen Arbeiten darüber auftrat, mit Arbeiten, welche, obgleich mit den allereinfachsten Mitteln angestellt, doch alles bisher auf diesem Gebiete geleistete weit übertrafen. Obwohl auch ihm dieser Schritt nicht leicht wurde, so erklärte er sich doch 1821 für die Annahme von Querschwingungen der Ätherteilchen, ohne welche die Thatsachen der Polarisation unerklärbar waren. Die Interferenz dagegen benutzte er in genialster Weise zur Bestimmung der Wellenlänge des Lichtes. Er erhielt Werte von 0.000 645 bis 0.000 406 *mm* und fand, dass die Lichtstrahlen verschiedener Farben Wellenlängen verschiedener Grösse aufwiesen, die roten die längsten, die violetten die kürzesten, wodurch denn die verschiedene Brechbarkeit derselben erklärt wurde. Auch die Erscheinungen der Doppelbrechung und die Form der Wellenfläche von Licht, welches doppelbrechende Krystalle durchlief, ordnete er zwanglos in seine neue Theorie ein. Er ging dazu von der 1813 gemachten Entdeckung **Seebecks** aus, dass plötzlich gekühlte Gläser Doppelbrechung zeigen, und fand, indem er die von dem Edinburger Professor **Brewster** (1781—1868) 1815 angestellten Versuche, die denselben Effekt durch Druck mit einer Schraube erreichten, erweiterte, als Ursache der Doppelbrechung die verschiedene Dichtigkeit des Äthers in verschiedenen Richtungen. Wie **Faraday** später auf

elektrischem, so entdeckte er auf optischem Gebiet eine Menge der staunenswertesten Thatsachen, die Interferenz des polarisierten Lichtes und die in solchem auftretenden Systeme farbiger von hellen oder dunkeln Kreuzen durchzogener Ringe in Krystallplatten, die Zirkularpolarisation u. s. w., aber vor dem englischen Forscher hatte er voraus, dass er alle diese Erscheinungen sofort aus seiner Annahme erklärte. Auch mit seiner Ansicht von der Lage der Schwingungsebene des polarisierten Lichtes gegen den polarisierenden Spiegel hat er Recht behalten, obwohl erst der neuesten Zeit angehörige Versuche dieselbe endgültig bestätigen konnten. Dieselbe steht bei der Polarisation durch Reflexion senkrecht auf der Reflexionsebene.

Sein früher Tod verhinderte **Fresnel,** die Undulationstheorie vollständig mathematisch zu bearbeiten. Dies holte der Professor an der Polytechnischen Schule zu Paris **Cauchy** (1789—1857) nach, aber auch an einer experimentellen Entscheidung über die Berechtigung beider Theorien sollte es nicht fehlen. **Arago** hatte zuerst darauf aufmerksam gemacht, wie eine solche Prüfung angestellt werden könne. Die Anhänger der Newtonschen Ansicht mussten folgern, dass das Licht im dichtern Körper sich rascher bewege, als im weniger dichten, während die Undulationstheorie gerade die entgegengesetzte Forderung stellte. Man hatte also, um über beide zu richten, nur die Geschwindigkeit des Lichtes in der Luft und im Wasser zu vergleichen, und auch dazu hatte **Arago** den Weg angegeben. Er selbst konnte die Versuche, da er erblindete, nicht mehr ausführen; dies unternahm **Foucault**, kam aber erst 1850 mit dem Apparate zu stande, nachdem der Inspektor an

der Polytechnischen Schule in Paris **Fizeau** (geb. 1819) bereits 1849 auf etwas andere Weise die Geschwindigkeit des irdischen Lichtes gemessen und ihren Wert mit genügender Genauigkeit gleich dem von **Römer** und **Bradley** erhaltenen gefunden hatte. **Foucaults** Versuche sprachen sich unzweideutig für die Undulationstheorie aus, deren Sieg nun endgültig entschieden war. Die Sicherheit ihrer Annahmen wurde aber in der Folgezeit noch wesentlich erhöht, als der englische Mathematiker **Hamilton** (1805—65) von ihnen ausgehend 1832 auf mathematischem Wege die sonderbaren Erscheinungen der konischen Refraktion entdeckt hatte, die darin bestehen, dass es in gewissen Krystallen Richtungen giebt, in denen dem durch sie hindurchblickenden Auge ein Lichtpunkt als Lichtring erscheinen muss, und der Dubliner Professor **Lloyd** (1800—81) die Richtigkeit dieses Resultates durch den Versuch erwies. Man hat diese Bestätigung der Undulationstheorie immer für einen schwerwiegenden Beweis ihrer Richtigkeit gehalten, und wohl mit demselben Rechte, mit dem man in der Entdeckung des Planeten Neptun an der durch Rechnung gefundenen Stelle immer einen grossen Triumph der Mechanik des Himmels gesehen hat. Da die Zuverlässigkeit naturwissenschaftlicher Kenntnisse durch den Versuch oder die Beobachtung bestätigt wird, so sind die mitgeteilten Thatsachen gewiss geeignet, beide Theorien als unsere sichersten wissenschaftlichen Erfolge hinzustellen, wenn auch nicht aus dem Auge verloren werden darf, dass das Substrat der Astronomie als solches beobachtet werden kann, der Lichtäther und seine Bewegung nicht.

Neben seiner anstrengenden Thätigkeit auf rein wissenschaftlichem Gebiete hat **Fresnel** eine fast noch grössere

in der angewandten Optik entfaltet. Im Anfange der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts zum Sekretär der französischen Kommission für die Leuchttürme ernannt, fand er wenig brauchbare Einrichtungen vor; als er starb, war für seine Nachfolger nur noch wenig zu verbessern übrig. Schon die Alten hatten Türme gehabt, die namentlich am Tage dem Seefahrer bestimmte Küstenpunkte kenntlich machten, nachts brannten auf denselben wohl auch Feuer. Optische Agenten verwandten sie aber nicht und der Hohlspiegel auf dem Pharus in Alexandrien hat den Zwecken des Leuchtturmes ganz gewiss nicht gedient. Mit der Entwickelung der Schiffahrt war auch die Wichtigkeit der Leuchttürme gewachsen, namentlich waren zu Cordouan in der Girondemündung und auf dem Eddystonefelsen bei Plymouth mächtige Türme aufgeführt, aber die wenigen Talgkerzen, die allnächtlich auf ihren Gipfeln brannten, standen in lächerlichem Missverhältnis zu dem gewaltigen Bauwerk, das sie trug. Wohl hatte man, namentlich in England, wo verschiedene Mitglieder der Familie **Stevenson** sich mit dieser Aufgabe beschäftigten, versucht, die Lichtwirkung durch Brennspiegel oder Linsen, welche die auf sie fallenden Strahlen parallel weiter gehen lassen sollten, zu erhöhen, aber die Leistungen waren weit hinter den angewandten Mitteln zurückgeblieben. Das sollte nun anders werden und es war für **Fresnel** eine wichtige Erleichterung, dass er verbesserte Leuchtapparate vorfand. 1784 hatte der Mechaniker **Argand** (1755—1803) die Lampe mit doppeltem Luftzuge angegeben und dieser Einrichtung 1800 der Uhrmacher **Carcel** ein Uhrwerk zugefügt, welches das Öl stets an den Docht hob. Davon ausgehend stellten

zunächst **Arago** und **Fresnel** eine neue Lampe her, die mehrere konzentrische Dochte besass; dann aber kam es darauf an, das Licht derselben zweckentsprechend zu verwenden. Nach reiflicher Überlegung suchte dies **Fresnel** nicht mit Spiegeln, sondern ihrer grössern Haltbarkeit wegen mit Linsen zu erreichen. Da aber solche von dem nötigen Durchmesser in genügender Reinheit damals nicht herzustellen waren, so verwirklichte er einen bereits 1748 von dem Intendanten des Königl. Gartens und des Naturalien-

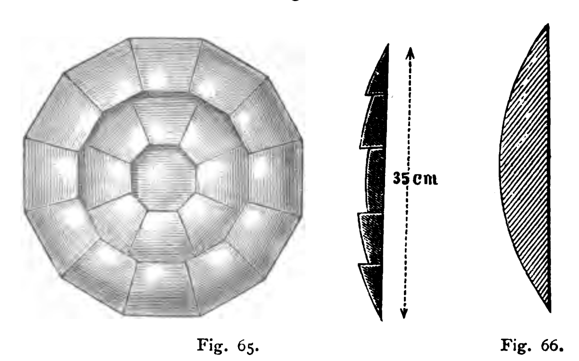



Fig. 65. Fig. 66.

kabinetts in Paris, dem Grafen **von Buffon** (1707—88), gemachten Vorschlag, den 1788 der Sekretär der Pariser Akademie der Wissenschaften **Condorcet** (1743—94) modifiziert hatte und der darin bestand, die Linsen aus einzelnen Stücken zusammen zu setzen. Mit Hilfe des berühmten Pariser Optikers **Soleil** (geb. 1798) gelang es ihm, die Zonenlinsen herzustellen, die aus konzentrischen Ringen, welche wiederum aus einzelnen Stücken gebildet werden, bestehen. Fig. 65 stellt eine solche in Ansicht und Querschnitt dar, Fig. 66 die Form einer aus einem Stück

bestehenden Linse von demselben Brechungsvermögen. Man sieht daraus, dass die Zonenlinse noch den Vorteil geringerer Masse und also auch geringeren Gewichtes bot. Diese Linsen erlaubten alles Licht in die Richtung ihrer Achse zu werfen, welches in dem von der Lampenflamme auf sie gesandten Kegel auffiel. Dabei ging aber noch eine Menge verloren und **Fresnel** brachte deshalb oberhalb der

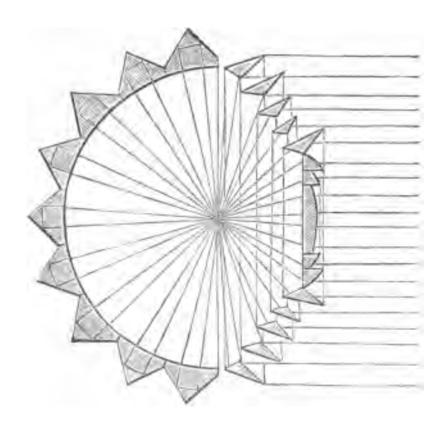


Fig. 67.

Zonenlinsen und hinter denselben Spiegel an, an deren Stelle er auch wohl total reflektierende Prismen verwendete. Die Spiegel ersetzte dann **Alan Stevenson** durch lauter solche Prismen und Fig. 67 zeigt eine Linse, die der englische Ingenieur 1836 herstellen liess und welche nur aus Zonenlinsen und Prismen besteht. Da man diesen Prismen eine beliebige Form geben konnte, so war es auch möglich, durch sie das Licht in eine beliebige Richtung

reflektieren zu lassen und so giebt es gegenwärtig wohl keine Aufgabe für Beleuchtung von Küsten, Felsen u. s. w., die sich nicht mit ihrer Hilfe lösen liesse. An Stelle der Öllampen trat dann in vielen Fällen das hellere elektrische Licht und indem man Apparate mit sechs oder mehr Zonenlinsen herstellte, welche durch ein Uhrwerk mit gleichbleibender Geschwindigkeit in Drehung versetzt werden, hat man erreicht, dass in ganz bestimmten Zeiträumen Lichtgarben über das Meer hinstreichen, die dem Seefahrer das Licht des Leuchtturmes abwechselnd sichtbar machen. Die Zeiträume, in denen dies geschieht, sind für verschiedene Leuchttürme verschieden lang und so ist es jenem möglich, mit dem Chronometer in der Hand sie von einander zu unterscheiden.

Es genügte für die Zwecke der Leuchtturmlampen, alle Glasteile aus gegossenem Glase herzustellen. Gläser aber, welche zu Refraktoren dienen sollten, mussten völlig ohne Streifen (Schlieren) und auf das sorgfältigste geschliffen sein. Die Herstellung ganz reiner Stücke, aus denen grössere Linsen erhalten werden können, ist sehr schwierig und man war lange dabei auf die Gunst des Zufalls angewiesen. So sollen die vortrefflichen Objektive, denen **Dollonds** Werkstatt nicht zum wenigsten ihren Ruhm verdankte, nach **Ramsdens** Erzählung aus einem Flintglasblock erhalten sein, welcher aus einem gesprungenen Tiegel ausgelaufen war, und erst nach jahrelangem Verweilen im Ofen bei dessen Abbruch gefunden wurde. Man wusste wohl, dass eine gleichartige Glasmasse durch äusserst vollständige Mischung ihrer Bestandteile würde erhalten werden können, aber es fehlte an Methoden, diese sicher herzustellen.

Eine solche hatte um 1773 **Guinand** (um 1744—1824) in Brenets bei Neufchâtel, ein Tischler, der Gehäuse für Pendeluhren verfertigte, erfunden und sie gedachte sich **Utzschneider** (1763—1840), der bayrischer Generalsalineninspektor, dann Bürgermeister von München gewesen war, 1804 mit dem bayrischen Oberbergrat **Reichenbach** (1772—1826) und dem Uhrmacher **Liebherr** (1767—1840) das Mathematisch-mechanische Institut in München, 1809 mit dem erstgenannten und dem Optiker des Instituts **Fraunhofer** (1787—1826) das Optische Institut in Benediktbeuren gründete, das 1823 nach München verlegt wurde, zu Nutze zu machen, indem er **Guinand** an dem letztgenannten Institut anstellte. So vortrefflich nun auch dessen Idee war, so gelang es doch erst gegen das Jahr 1812 **Fraunhofer,** dieselbe in die Praxis einzuführen und reine Flintglasmengen von grösseren Abmessungen herzustellen. Seitdem lieferte das Optische Institut, das später auf **Georg Merz** (1793—1867), der nach **Fraunhofers** Tode die Leitung des optischen Teils übernommen hatte, und dann auf den Mechaniker **Ertel** (1778—1858) überging, die besten Refraktoren für die Sternwarten. 1814 verliess **Guinand** München, um in sein Vaterland zurückzukehren. Er richtete sich dort eine neue Werkstatt ein und eine aus derselben nach London zur Begutachtung übersandte Linse wurde Ursache, dass sich **Faraday** mit der Herstellung eines optischen Glases beschäftigte, das zwar sehr rein, aber praktisch nicht verwendbar war. Bei seinem Tode hinterliess **Guinand** sein Geheimnis seiner Witwe und seinen beiden Söhnen, von denen der eine mit **Bontemps** einen Glasschmelzofen in Paris einrichtete, während der andere in der Schweiz

blieb und die Herstellung optischer Gläser später an den Solothurner Optiker **Daguet** (geb. 1795) abtrat. Die von ihm hergestellten Gläser übertrafen bald die Münchener. Ebenso lieferte vortreffliche die Firma **Chance brothers**, in die **Bontemps** eintrat. In neuerer Zeit haben amerikanische Optiker und **Dr. Schott** in Jena die Herstellung trefflicher optischer Gläser in die Hand genommen.

Mit der Vervollkommnung optischer Gläser hielt die Kunst in der Herstellung der Instrumente, für die sie bestimmt waren, gleichen Schritt. Noch vor dem Utzschneiderschen Institut hatte 1762 **Joh. Christian Breithaupt** (1736—1800) in Kassel das noch bestehende Mathematisch-mechanische Institut gegründet, das hauptsächlich geodätische Instrumente liefert, 1802 **Repsold** (1771—1830) den Bau seiner später so berühmten astronomischen Instrumente begonnen. 1813 entstand in Berlin die auf gleichem Gebiet thätige Werkstatt von **Pistor** (1778—1847) und **Martins**, 1834 die von **Baumann** und **Oertling** (1803—66). Alle diese Firmen liessen sich die Herstellung und Verbesserung der Teilmaschinen angelegen sein. Auch **Steinheil** gründete 1854 ein Optisch-mechanisches Institut. In Wien fertigten **Starke** und **Stampfer** (1792—1864) geodätische Instrumente, **Plössl** (1794—1868) Fernrohre. Die Kunst der Glasbläser übte in Berlin seit 1813 die Familie **Greiner** und der aus Thüringen stammende **Ch. F. Geissler**, dessen Bruder **Dr. Heinr. Geissler** (1814—79) in Bonn dieselbe zu hoher Vollendung brachte. Auch England und Frankreich blieben nicht zurück. Aus dem erstgenannten Land erwähnen wir **Troughton** (1753—1835), dessen

berühmte Werkstatt aus dem Jahre 1782 datiert, die berühmtesten Firmen des zweiten nannten wir bereits, fügen hier nur noch die von **Gambey** (1787—1847) bei. Während aber die ausländischen Firmen die äussere mechanische Schönheit, wie sie **E. Du Bois-Reymond** (geb. 1818) nennt, vernachlässigten und noch lange die verschnörkelten Formen früherer Zeiten beibehielten, folgten die deutschen dem Vorbilde **Reichenbachs** und lieferten Apparate, die dem dafür empfänglichen Auge einen höchst erfreulichen Anblick gewährten.

**Fraunhofers** Thätigkeit kam aber auch den Wissenschaften zu gute. Nicht zufrieden mit den Leistungen der astronomischen Fernrohre suchte er zuerst deren Theorie zu vervollkommnen. Als er dadurch noch nicht die gehofften Ergebnisse erhielt, wünschte er eine nochmalige sorgfältige Prüfung der Farbenzerstreuung der im Gebrauch befindlichen Glassorten vorzunehmen, musste dabei aber zunächst die Schwierigkeit überwinden, die in der keineswegs scharfen Begrenzung der Farben des Spektrums lag. In der Absicht, sie möglichst von einander zu sondern, stellte er einem schmalen Spalt im Laden eines verdunkelten Zimmers gegenüber einen Theodolit auf und dessen Fernrohr so ein, dass es ein scharfes linsenförmiges Bild des Spaltes, durch den die Sonnenstrahlen in das Fernrohr fielen, zeigte. Auf ein vor ihm angebrachtes Tischchen setzte er dann ein Prisma mit senkrechter brechender Kante, so dass er durch entsprechende Drehung des Fernrohrs in dessen Gesichtsfelde nebeneinander die Bilder des Spaltes in den verschiedenen Farben des Spektrums erhalten konnte. Zu seinem Erstaunen fand er 1814 das so erhaltene sehr reine Spektrum

von verschieden breiten senkrechten dunklen Linien durchzogen, die seitdem die Fraunhoferschen Linien genannt werden. Er bezeichnete sie mit den Buchstaben des Alphabets und erkannte in der Bestimmung ihrer Brechungskoeffizienten ein vortreffliches Mittel, auch die Brechbarkeit der zwischen ihnen befindlichen Strahlen festzusetzen. Es war indessen nicht die erste Entdeckung dieser merkwürdigen Streifen; schon 1802 hatte sie **Wollaston** gesehen, indem er von der Seite gegen ein vor einem schmalen, von der Sonne beleuchteten Spalt aufgestelltes Prisma blickte, aber mit dieser Beobachtung nichts weiter anzufangen gewusst. **Fraunhofer** entdeckte bei seinen Beobachtungen des Spaltes ohne Prisma auch eine sehr bequeme Methode, die Beugungsspektren herzustellen.

Die Entstehung der Linien zu erklären gelang zunächst freilich nicht. Diese Erklärung sollte von einer Seite kommen, von der man sie nicht erwartete. Zu verschiedenen Zwecken, namentlich in der Feuerwerkerei, verwendete man längst durch bestimmte Zusätze gefärbte Flammen. Strontium gab eine rote, Barium eine grüne Flamme, die Flamme einer Weingeistlampe aber, deren Docht man mit Kochsalz oder Soda eingerieben hatte, zeigte eine gelbe Farbe. Durch ein Prisma betrachtet, gaben schmale gefärbte Flammen oder ein durch eine solche beleuchteter Spalt ein aus einer oder mehreren Linien bestehendes Spektrum. Namentlich gab die gelbe Natriumflamme eine einzige Linie in Gelb, meist mit einem schwachen gewöhnlichen Spektrum, welches von der Weingeistflamme herrührte. **Fraunhofer** hatte bereits gefunden, dass die Brechbarkeit dieser gelben Linie mit der der Linie *D* des Sonnen-

spektrums übereinstimme, und **Brewster** hatte die Natriumflamme 1821 zur Herstellung einer monochromatischen Lampe für mikroskopische Zwecke benutzt. Da dieselben Stoffe stets dieselben Spektrallinien ergaben, so machten 1826 und 1827 die Mitglieder der Royal Society **Talbot** (geb. 1800) und **John Herschel** (1792—1871) darauf aufmerksam, dass die Linien bestimmten Stoffen eigentümlich seien und somit die gefärbten Flammen dazu dienen könnten, kleine Mengen der in ihnen glühenden Stoffe nachzuweisen. Aber über die färbende Substanz der mit Kochsalz gefärbten Flamme war sich der erstere durchaus noch nicht klar. Eine sichere Bestimmung der Bestandteile einer solchen Flamme setzte nun die genaue Kenntnis ihrer Spektren voraus und um diese zu erhalten, stellte der Professor am Kings College in London **Miller** (1817—70) Zeichnungen derselben her, die sich aber in der Folge als unbrauchbar erwiesen, da die verwendeten Flammen selbstleuchtende gewesen waren. Als färbende Substanz der gelben Kochsalzflamme erkannte Professor **Swan** zuerst das Natrium, und fand zugleich, dass ganz geringe Spuren dieser Substanz zu einer intensiven Färbung der Flamme hinreichten. Auch die Spektren elektrischer Funken, die durch die Metalle, zwischen denen sie überschlugen, gefärbt wurden, hatte man untersucht, aber erst 1860 sprachen die Heidelberger Professoren **Bunsen** (geb. 1811) und **Kirchhoff** (1824—87) als die ersten den Satz aus, dass die hellen Linien im Spektrum eines glühenden Gases ausschliesslich von seinen einzelnen chemischen Bestandteilen herrührten und dass umgekehrt durch die Beobachtung jener auf das Vorhandensein auch dieser in ganz unwägbar geringen

Spuren mit Sicherheit geschlossen werden könne. Damit war das Prinzip der Spektralanalyse gegeben und ihre Brauchbarkeit sowie gleichzeitig ihre Empfindlichkeit bewies **Bunsen** sogleich durch die Entdeckung zweier neuer Metalle, die im Dürkheimer Mineralwasser in so geringer Menge vorkommen, dass er aus 44000 *kg* desselben nur etwa 16.5 *g* der Mischung ihrer Chloride erhielt. Die Entdeckung noch mehrerer, bis dahin unbekannter Elemente liess bald genug die Wichtigkeit der neuen Methode für die Chemie erkennen.

Fast noch grössere Bedeutung gewann sie für die Astronomie. Erwies sie sich doch als brauchbar, nicht nur über die physikalische Beschaffenheit der Himmelskörper, sondern auch über die Bewegung derselben im ganzen und in ihren einzelnen Teilen Aufschluss zu geben. Der erste Schritt zu dieser Erkenntnis war die Entdeckung der Entstehungsursache der Fraunhoferschen Linien durch **Kirchhoff**. Der berühmte Forscher beobachtete, dass die Natriumlinie auf einem lichtschwachen Sonnenspektrum hell erschien, wenn das Sonnenlicht durch eine Natriumflamme gegangen war, bei derselben Versuchsanordnung aber der *D*-Linie eines lichtstarken Sonnenspektrums eine intensive Schwärze verlieh. Nahm er statt des Sonnenlichtes elektrisches Bogenlicht oder Licht, das von einem im Wasserstoffgebläse weissglühenden Kreidecylinder ausging, und welches für sich allein ein Spektrum ohne Fraunhofersche Linien lieferte und liess dies durch die Natriumflamme fallen, so erhielt er ein Spektrum mit der dunkeln *D*-Linie. Daraus schloss er, dass das Sonnenlicht, welches zu uns kommt, durch eine Schicht glühender Gase und Dämpfe gegangen sein

muss, in der alle die Stoffe sich befinden, deren Linien im Sonnenspektrum vorkommen. Da dazu Eisen gehört, dessen Verdampfung eine so hohe Temperatur erfordert, wie sie weder in der Nähe der Erde noch zwischen Erde und Sonne stattfindet, in der Umgebung der Sonne aber zu erwarten ist, so muss die Sonne von einer Schicht umgeben sein, die alle diese Stoffe in höchst erhitztem Zustande in Dampfform enthält und dem Sonnenlichte seine Farbe verleiht. Diese Untersuchungen führten **Kirchhoff** auf den Satz, dass das Absorptionsvermögen eines Körpers seinem Emissionsvermögen gleich sein muss, ein Satz, der namentlich für die Wärmelehre von grosser Wichtigkeit ist und den **Bunsen** durch einen ebenso schlagenden, wie einfachen Versuch bestätigte. Ebenso wie das von der Sonne ausgesandte Licht uns Kunde giebt von den ihre Umgebung bildenden Stoffen, muss dies auch das Licht der übrigen eignes Licht ausstrahlenden Himmelskörper thun und so verdanken wir der Spektralanalyse die interessantesten Aufschlüsse über die stoffliche Zusammensetzung der Fixsterne, Nebelflecke und Kometen.

So überraschend aber auch diese Ergebnisse waren, so ist doch die Möglichkeit, durch die Beobachtung des Spektrums eines Himmelskörpers seine Bewegung zu bestimmen, noch erstaunlicher. Schon 1842 hatte der damalige Schemnitzer, später Wiener Professor **Doppler** (1803—53) darauf aufmerksam gemacht, dass, wie ein Ton höher erscheint, wenn sich Schallquelle und Ohr einander nähern, tiefer, wenn sie sich von einander entfernen, weil im ersten Fall die Luftverdichtungen etwas schneller, im zweiten etwas langsamer in unser Ohr gelangen, als

bei ruhendem Ohr und ruhender Schallquelle, ebenso auch die Farbe eines Lichtstrahles, den ein sich nach uns hin bewegender Körper sendet, durch eine brechbarere ersetzt werden muss, wenn sich der sie entsendende Körper uns nähert, und umgekehrt. Die Fraunhoferschen Linien im Spektrum des von einem solchen Körper ausgestrahlten Lichtes müssen dann nach dem violetten Ende verschoben erscheinen, ebenso die Linien im Sonnenspektrum entsprechende Ausbuchtungen zeigen, wenn an der betreffenden Stelle sich rasch gegen die Sonne bewegende Gasmassen vorhanden sind. In der That ist es möglich gewesen, auf diese Weise festzustellen, dass über den Sonnenflecken Eruptionen von glühenden Gasen erfolgen, dass einige Fixsterne sich mit gewissen Geschwindigkeiten uns nähern, andere sich von uns entfernen. Gerade in jetziger Zeit beschäftigt sich die Potsdamer Sonnenwarte mit diesen äusserst schwierigen Beobachtungen.

Für alle diese Untersuchungen, aber auch für astronomische Messungen hat sich die Photographie als äusserst nützlich erwiesen. Sie beruht auf der Fähigkeit des Lichtes, in gewissen Körpern, namentlich den Silbersalzen, chemische Prozesse hervorzurufen. Dass Chlorsilber im Lichte geschwärzt wird, erwähnte bereits 1566 der Meissener Rektor **Georg Fabricius** (1516—71) in einem Werke, welches **Agricolas** „De re metallica“ ergänzen sollte. Diese Eigenschaft zum Abbilden von Buchstaben mittels ausgeschnittener Schablonen zu benutzen, versuchte 1727 zuerst der Altdorfer, später Haller Professor **Schulze** (1687—1744), dem mit dem Abbilden von Silhouetten **Charles** folgte. 1802 machten der Porzellanfabrikant

**Wedgwood** und bald darauf **Davy** ähnliche Versuche, aber es wollte noch nicht gelingen, die Bilder zu fixieren, da es nicht gelang, die nicht geschwärzten Stellen gegen das Licht unempfindlich zu machen. Wenn dieses nun auch zuerst der frühere Kavallerieoffizier, spätere Privatmann **Nièpce** (1765—1833) erreichte, so ging der von ihm eingeführte Prozess doch zu langsam vor sich, als dass er sich hätte einbürgern können. Erst das Verfahren des Pariser Malers **Daguerre** (1789—1851) konnte allgemeinere Verwendung finden. Seine seit 1826 angestellten Versuche führten ihn dahin, dass er eine Silberplatte in Joddämpfe brachte und dadurch mit einer dünnen Schicht Jodsilber überzog, auf ihr dann das Bild des Gegenstandes mit einer Sammellinse entwarf und endlich das unzersetzte Jodsilber mit dem von **John Herschel** 1819 entdeckten unterschwefligsauren Natron abwusch. Die Daguerreotypen, wie man die auf diese Weise erhaltenen Lichtbilder nennt, haben aber die unangenehme Eigenschaft, zu spiegeln. Das Verfahren, auf Papier zu photographieren, wandte zuerst 1828 **Talbot** an; er erhielt so negative Bilder, die auf anderes Papier übertragen wurden, indem das Bild auf dieses gelegt und beide unter einem Glase der Sonne ausgesetzt wurden. Erst später erzeugte man das negative Bild auf einer Glastafel.

Beim Photographieren wirkt das Licht auf die Körperteilchen ein, indem es die Atome, die zu einer Verbindung vereinigt waren, trennt. Dazu muss es sie in Bewegung setzen. Was aber, muss man dann fragen, wird die Wirkung des Lichtes sein, welches auf Körper fällt, in denen es keine chemischen Prozesse hervorruft? Da solche

Körper erwärmt werden, so wird die Wärmelehre die Antwort auf diese Frage geben müssen. So lange die Wärme für einen Stoff gehalten, die Erwärmung eines Körpers als seine Verbindung mit diesem Stoff betrachtet wurde, fiel die Antwort ziemlich unbefriedigend aus. Erst nachdem man das Licht als eine Art der Bewegung erkannt hatte, ergab sie sich von selbst. Sehen wir nun zu, wie diese Erkenntnis die frühere Stofftheorie verdrängte.

Den ersten Anstoss dazu gaben die Arbeiten von **Benjamin Thompson.** In Rumford in Amerika 1753 geboren, hatte der junge Schullehrer auf englischer Seite an den Befreiungskriegen teilgenommen, war nach Beendigung derselben in englische, dann in bayrische Kriegsdienste getreten, wo er zum Kriegsminister ernannt und zum **Grafen Rumford** erhoben wurde, 1803 hatte er sein Amt niedergelegt und bis zu seinem 1814 erfolgten Tode in Paris gelebt. Bereits 1778 hatte **Graf Rumford**, unter welchem Namen er bekannter geworden ist, zu seiner Überraschung gefunden, dass blinde Schüsse die Kanonen stärker erhitzen, als scharfe, aber vergeblich versucht, diese Beobachtung aus der Annahme eines Wärmestoffes zu erklären. Die kriegerischen Ereignisse der folgenden Jahre liessen ihn die Frage nicht früher als 1798 wieder aufnehmen, und um zu ergründen, woher die bei mechanischen Vorgängen auftretende Wärme stamme, stellte er damals die berühmten Versuche an, die zuerst die Stofftheorie der Wärme so gewaltig erschütterten. Ein stumpfer Kanonenbohrer wurde stark belastet und in einer besonders dazu hergestellten Form von Kanonenmetall gedreht, wobei ein in den Cylinder eingesetztes Thermometer eine beträchtliche Er-

wärmung zeigte. Dass die Wärme nicht aus der geringen Menge abgeriebener Späne stamme folgte daraus, dass sie ihre Wärmekapazität nicht verändert hatten. Diese aber gab nach Ansicht der Stofftheorie die von ihrer Substanz gebundene Wärmemenge an. Um sodann zu untersuchen, ob die Wärme aus der umgebenden Luft genommen sei, schloss **Rumford** dieselbe ab, indem er den Apparat in Wasser setzte und nun mit gleichem Ergebnis den Versuch wiederholte. Somit konnte auch in der Luft nicht die Quelle der entwickelten Wärme gesucht werden. Da auch der Stahl des Bohrers und das Kanonenmetall der Form ganz unverändert geblieben waren, Fortsetzung der Bewegung aber weitere Temperaturerhöhung zur Folge hatte, so blieb nichts übrig, als eben in der Bewegung die Ursache der Erwärmung zu sehen. Derselbe Schluss musste von **Davy** gezogen werden, als er zwei Eisstücke durch Reibung an einander im leergepumpten Rezipienten der Luftpumpe zum Schmelzen brachte. Da nach der Stofftheorie Wasser eine Verbindung von Eis und Wärme war, so konnten die Eisstücke die dazu nötige Wärme nicht geliefert haben, und da die Luft ausgeschlossen war, die sie hätte abgeben können, so blieb nur die Reibung als Wärmequelle übrig.

Einstweilen waren diese Versuche zu vereinzelt, als dass sie der herrschenden Ansicht hätten gefährlich werden können, und auch **Youngs** Annahme, dass die Wärme in Schwingungen des Lichtäthers bestände, die langsamer als die Lichtschwingungen vor sich gingen, teilte das Schicksal seiner Versuche, die den Umsturz der Stofftheorie des Lichtes zum Zwecke hatten. Nicht viel besser ging es

**William Herschels** (1738—1822) Untersuchungen über die Wärmewirkung der Strahlen verschiedenfarbigen Lichtes. **Herschel** war als Hautboist eines hannöverschen Regimentes nach England gekommen, war dort Organist und, nachdem er sich durch astronomische Arbeiten und Entdeckungen, von denen die des Planeten Uranus aus dem Jahre 1783 das grösste Aufsehen erregte, sowie durch Verfertigung vortrefflicher Spiegelteleskope berühmt gemacht hatte, Privatastronom des Königs von England geworden. Indem er ein kleines, empfindliches Thermometer an den

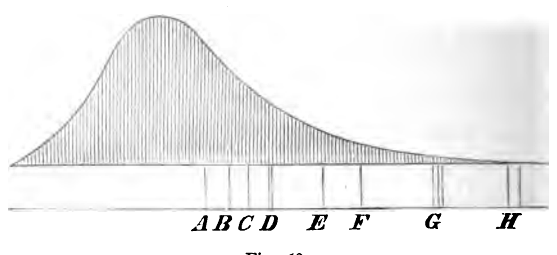



Fig. 68.

verschiedenen Stellen des Spektrums aufstellte, sah er es nach dem roten Ende zu immer höher steigen, seinen höchsten Stand aber ausserhalb der roten Strahlen, an einer Stelle, wo das Auge kein Licht mehr wahrnahm, erreichen. Stellt also Fig. 68 das Sonnenspektrum mit den Fraunhoferschen Linien vor, und trägt man auf einer darüber errichteten Senkrechten die an der betreffenden Stelle beobachtete Wärmewirkung ab, so giebt die Linie, welche die von dieser Senkrechten eingenommene schraffierte Fläche begrenzt, den Verlauf der Wärmewirkung und führt zu

dem Ergebnis, dass alle Lichtstrahlen auch Wärmewirkungen geben, die blauen und violetten freilich sehr geringe. Obwohl sich auch **Rumford** mit Erfolg bemühte, das Vorhandensein von Wärmestrahlen zu beweisen, so suchte doch der Edinburger Professor **Leslie** (1766—1832) das Dasein derselben für widersinnig darzustellen und die von **Herschel** gefundene Wärmewirkung im ultraroten Teil des Spektrums durch eine unmittelbare Mitteilung seitens der leuchtenden Strahlen zu erklären. Schwerer noch fielen die theoretischen Arbeiten des langjährigen Präfekten des Isère-Departements, spätern Vorstandes des Statistischen Bureaus im Seine-Departement **Fourier** (1768—1830) für die Stofftheorie ins Gewicht. Von einem mit anziehenden und abstossenden Kräften ausgestatteten Wärmestoff ausgehend leitete er auf mathematischem Wege namentlich die Gesetze der Wärmeleitung ab, und wenn es auch unverständlich blieb, wie ein solcher Stoff lediglich durch sein Vorhandensein physikalische Wirkungen ausüben sollte, so konnte diese klassische Untersuchung die bestehende Ansicht doch nur stärken. **Poisson** schloss sich an **Fourier** an, und indem **Cauchy** anstatt jenes Stoffes nur körperliche Punkte annahm, welche, durch leere Räume getrennt, jene Wirkungen auf einander ausüben sollten, blieb allerdings von dem Wärmestoff wenig genug übrig, aber für die Ansicht, dass die Wärme eine Art der Bewegung sei, sprachen doch auch diese Arbeiten nicht. Die Wärmeleitung war von **Fourier** allgemein behandelt worden, während **Lambert** und später **Biot** ihre Ausbreitung in Metallstäben allein untersucht hatten. Hinsichtlich der Erklärung des Ursprunges der Erdwärme aber trat **Poisson** **Fourier** entgegen. Hatte der letztere aus der raschen

Zunahme derselben im Innern der Erde gefolgert, dass sie neben der von der Sonne erhaltenen Wärme auch eigene besessen haben müsse, so war dieser der Ansicht, dass sich aus einer solchen Annahme eine der Konstitution unserer Planeten widersprechende, allzu hohe Temperatur des Erdinnern ergeben würde und nahm deshalb an, dass die Sonne mit der sie umkreisenden Erde verschieden warme Teile des Weltenraums durchlaufe und dass ihre Wärme aus einer solchen heissern Region herrühre.

Während so die Arbeiten der französischen Mathematiker der Stofftheorie der Wärme zu Gute kamen, bereiteten eine Reihe ebenfalls der Mehrzahl nach von französischen Forschern ausgeführter physikalischer und chemischer Experimentaluntersuchungen den Umschwung zu Gunsten der Annahme, dass die Wärme Bewegung sei, vor. Diese Untersuchungen waren hauptsächlich dem Studium der Gase gewidmet. Ohne von **Daltons** Arbeiten Kenntnis zu haben, fand **Gay-Lussac** 1808, dass bei chemischer Einwirkung zweier Gase auf einander die in Verbindung tretenden Volumina in einfachen Verhältnissen zu einander ständen und dass dasselbe hinsichtlich der Volumina einer entstehenden gasförmigen Verbindung und ihrer Bestandteile gelte. Während sich **Dalton** mit diesen Resultaten einverstanden erklärte, folgerte 1811 der Turiner Professor **Graf Avogadro di Quaregna** (1776—1856) aus denselben, dass in gleichen Räumen verschiedener Gase gleich viele kleinste Teilchen vorhanden seien, dass die kleinsten selbständigen Teilchen eines Gases noch zusammengesetzt wären und im allgemeinen aus mindestens zwei chemischen Atomen beständen. Ohne **Avogadros** Arbeit zu kennen,

zog **Ampère** 1814 dieselbe Folgerung. Trotzdem blieb es erst der neuesten Zeit vorbehalten, dieses Gesetz als richtig anzuerkennen und nach seiner grossen Wichtigkeit zu würdigen.

Sodann untersuchte **Gay-Lussac** die Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Insbesondere bestimmte er den Ausdehnungskoeffizienten der Luft 1807 zu 0.00375, eine Zahl, die später von dem Pariser Professor **Regnault** (1810—78) und dem Berliner Professor **Magnus** (1802—70) in schöner Übereinstimmung genauer zu 0.003665 gefunden wurde. Als Ausdehnungskoeffizient der anderen Gase ergab sich, in Übereinstimmung mit **Daltons** Untersuchungen, die nämliche Zahl, und wenn auch **Regnault** beobachtete, dass diese Übereinstimmung keine völlige ist, so zeigten sich doch die Unterschiede der genannten Koeffizienten ungemein klein. **Regnault** prüfte alsdann seine Resultate, indem er mit Luftthermometern, welche mit verschiedenen Gasen gefüllt waren, Temperaturbestimmungen vornahm, und gab bei dieser Gelegenheit die Form des Luftthermometers an, welches auch heute noch zur Berichtigung des Quecksilberthermometers benutzt wird. Dabei zeigte sich der Unterschied zwischen Gasen, die bei gewöhnlicher Temperatur von ihrem Siedepunkte weit entfernt sind, und Dämpfen, bei denen dies in geringerem Masse der Fall ist, von grösster Bedeutung und die Gase erkannte man als Dämpfe, deren Temperatur sehr hoch über der ihres Siedepunktes liegt. Dann aber lag der Gedanke nahe, zu versuchen, ob nicht die Gase auch durch Druckerhöhung und Temperaturerniedrigung flüssig gemacht werden können. Mit dem Chlor gelang dies **Faraday** 1823, mit der Kohlen-

säure **Thilorier** 1835, aber erst die Arbeiten des Belfaster Professor **Andrews** (1813—85) ermöglichten es, auch den Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff flüssig zu machen, welche Versuche jedoch erst in neuester Zeit ein günstiges Resultat lieferten.

Bei den gelegentlich aller dieser Versuche so oft nötigen Messungen von Gasvolumen wurde das Kathetometer **Grays**, nachdem dessen Mikroskop durch ein Fernrohr ersetzt worden war, eines der wichtigsten Hilfsmittel. **Gay-Lussac** führte es zuerst, freilich in ganz kleinen Dimensionen, ein, als er auf Wunsch von **Laplace** dessen theoretische Untersuchungen über die Kapillarität experimentell prüfte. Ein grösseres solches Instrument wandten 1816 die Pariser Professoren **Dulong** (1785—1838) und **Petit** (1791—1820) zur Bestimmung der Ausdehnung des Quecksilbers an. Dasselbe hatte bereits die Form der gegenwärtigen Instrumente dieser Art, nur war die Skala, an welcher das Fernrohr verschoben wird, dem besonderen Zwecke gemäss kürzer.

**Dulong** und **Petit** unternahmen dann 1819 die Bestimmung der spezifischen Wärme der Gase, indem sie zunächst die Gesetze des Erkaltens eines Wärme strahlenden Körpers studierten und auf diese eine neue Methode für die Lösung der gestellten Aufgabe gründeten. Sie kamen dabei zu dem Resultat, dass bei einfachen Körpern die Atomwärme, d. i. das Produkt aus spezifischer Wärme und Atomgewicht, eine konstante Grösse sei, und wenn auch **Regnault** später zeigte, dass dieses Gesetz nur für Metalle mit genügender Annäherung gelte, so war diese doch so gross, dass sich die relativen

Atomgewichte einer Anzahl chemischer Verbindungen danach richtigstellen liessen.

Eine Prüfung des Boyleschen Gesetzes nahmen 1830 **Dulong** und **Arago** vor, indem sie die Abhängigkeit des Volumens vom Druck für atmosphärische Luft untersuchten. Später dehnte **Regnault** diese Versuche auch auf andere Gase aus und zeigte, dass die Abweichungen von diesem Gesetz, die **Dulong** und **Arago** gefunden, aber für Beobachtungsfehler gehalten hatten, thatsächlich bestehen. Das Volumen des Wasserstoffs ergab sich immer ein klein wenig grösser, das der anderen Gase ein klein wenig kleiner, als das Boylesche Gesetz vorschrieb.

Die Untersuchung der Gase führte sofort auch auf die der Dämpfe. Namentlich an der Untersuchung der Spannkraft, mit der die mit dem erhitzten Wasser noch in Berührung befindlichen Dämpfe in der Dampfmaschine ihre Arbeit verrichten, war der Technik viel gelegen. Da nun die Spannkraft dieser gesättigten Dämpfe, wenn sie weiter erwärmt werden, sich dadurch erhöht, dass mehr Wasser verdampft, beim Abkühlen aber abnimmt, indem sich Wasser niederschlägt, so entspricht jeder Temperatur eine bestimmte grösste Spannkraft und diese galt es zu bestimmen. **Watt, Dalton, Dulong, Arago** und viele andere Experimentatoren hatten sich mit dieser Bestimmung beschäftigt, aber erst **Magnus** und **Regnault** lieferten 1844 aus Versuchen, die nach ganz verschiedenen Methoden angestellt waren, so genau übereinstimmende Werte der Spannkräfte, dass dieselben als die endgültig richtigen angesehen werden durften. Waren sie doch auch mittels ganz verschiedener Formeln aus den Beobachtungen

berechnet. Es war zwar nicht gelungen, ein Gesetz aufzustellen, welches, auf der Kenntnis der Vorgänge beruhend, die Abhängigkeit der Spannkraft und der Temperatur in einer mathematischen Formel giebt, und ein solches besitzen wir auch heute noch nicht. Man musste sich also mit einer sogenannten empirischen Formel begnügen, welche in mathematischer Fassung die Versuchsergebnisse genau wiedergab. Solche Formeln lassen sich aber auf die verschiedenste Weise erhalten, und so hat man für den vorliegenden Zweck nicht weniger als vierzig aufgestellt. Die von **Magnus** gewählte erwies sich als ausreichend, die sämtlichen Beobachtungen darzustellen. **Regnault** zog es vor, die seinigen nach den Temperaturen in drei Gruppen zu teilen und für jede solche Gruppe je eine Formel aufzustellen.

Nicht weniger wichtig, als die Untersuchung der Spannkraft der Wasserdämpfe, war diejenige der Gesetze, nach welchen die Verdampfung des Wassers in Räumen vor sich geht, die mit Luft gefüllt sind. Diese hatte bereits **Dalton** unternommen und 1801 das Gesetz aufgestellt, das heute noch seinen Namen trägt und aussagt, dass die Spannkraft eines Gasgemisches so gross ist, wie die Summe der Spannkräfte seiner einzelnen Teile, ein Gesetz, welches in der Folge **Gay-Lussac** durch Versuche bestätigte. Das gebräuchlichste Instrument zur Ermittlung der Luftfeuchtigkeit war das von dem frühern Professor, spätern Ratsherrn in Genf **Horace Bénoît de Saussure** 1783 angegebene Haarhygrometer. Dasselbe besteht aus einem einerseits befestigten, anderseits so um eine Rolle geschlungenen Haares, dass die Achse der Rolle und mit ihr ein darauf gesteckter Zeiger sich drehen, wenn abnehmende Feuchtig-

keit das Haar verkürzt. Dabei hebt es ein Gewicht, welches an einem im entgegengesetzten Sinne um die Achse geschlungenen Faden hängt, also die Achse zurückdreht, wenn das Haar wieder länger wird. Die Angaben dieses Instrumentes waren aber so ungenau, dass man eifrig nach besseren Beobachtungsmethoden der Luftfeuchtigkeit suchte. 1820 gab zu diesem Zwecke **Daniell** ein anderes Hygrometer an, welches auf der Bestimmung des Taupunktes beruht. Aber auch dieses war nicht genau genug, erst das 1825 von dem Berliner Gymnasialdirektor **August** (1795—1870) erfundene Psychrometer gab befriedigende Resultate. Es besteht aus zwei in Zehntelgrade geteilten Thermometern, von denen das eine mit einem stets feucht erhaltenen Stücke Batist umgeben ist. Aus den Angaben beider lässt sich dann die Menge Wasser berechnen, die jedesmal verdampfen muss, um die Luft völlig zu sättigen, und aus dieser diejenige, welche bereits in ihr vorhanden war. 1845 unterwarf **Regnault** die Hygrometer einer erneuten Untersuchung und es gelang ihm, sowohl das **Daniell**sche, wie das **de Saussure**sche in einer Weise zu verbessern, dass namentlich das letztere, allerdings erst nach Anbringung einiger weiterer Abänderungen, nicht nur das bequemste, sondern auch das genaueste der Instrumente geworden ist, die zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit verwendet werden.

So wichtig nun auch die Untersuchungen über den Wasserdampf für die Verbesserung der Dampfmaschine wurden, so war das Fortschreiten dieser keineswegs von jenen abhängig gewesen. Namentlich war es die Erfindung der Lokomotive, die die 1829 eröffnete Bahn zwischen

Liverpool und Manchester zur ersten modernen Eisenbahn machte. Holzbahnen, auf denen Förderwagen durch Menschen geschoben liefen, hatte man bereits im 16. Jahrhundert im deutschen Bergbau, seit 1770 verwendete man auch Pferde oder stehende Dampfmaschinen mit Seilbetrieb zum Fortziehen der Wagen. Den ersten Dampfwagen liess der Besitzer einer Maschinenfabrik in New York **Evans** (1755—1819) auf einer Strasse ohne Schienen gehen, ohne damit aber einen nennenswerten Erfolg zu erzielen. Während man in Amerika hierdurch von weiterer Bearbeitung der Sache abgeschreckt wurde, nahm man sie nun in England mit Eifer auf, überzeugte sich aber bald, dass der Widerstand gewöhnlicher Strassen zu gross sei, als dass auf ihnen Dampfwagen mit Erfolg würden laufen können, und entschloss sich deshalb, dieselben auf eigens für sie gebaute Bahnen zu setzen. Die früheren Holzbahnen waren seit 1767, wo die Eisenpreise ungemein niedrige gewesen waren, durch eiserne ersetzt, und die ersten Versuche mit einer auf solchen laufenden Lokomotive fielen ermutigend aus. Fürchtete man auch im Anfang, dass die Adhäsion der Räder an den Schienen nicht ausreichte, um die Lokomotive zur Bewegung eines schweren Zuges zu benutzen, und dass es nötig sei, diesem Mangel durch besondere Mittel abzuhelfen, so überzeugte man sich bald von der Grundlosigkeit dieser Sorge. 1825 gelang es so **George Stephenson** (1781—1841), der sich vom einfachen Arbeiter zum Besitzer einer grossen Maschinenfabrik aufgeschwungen hatte, die Stockton-Darlington-Bahn ins Leben zu rufen, die erste Lokomotivbahn, welche Personen und Güter dauernd beförderte. Aber die Geschwindigkeit,

mit der dies geschah, war gering und den für die Liverpool-Manchester-Eisenbahn gestellten Forderungen hätte man nicht genügen können, wenn nicht die raschere Dampfbildung durch Zufügung des das Feuer anfachenden Blasrohres und des die Heizfläche ganz ungemein vergrössernden Röhrenkessels, die **Stephenson**, wenn er sie auch nicht selbst erfunden hat, doch zuerst verwendete, die Leistung der Lokomotive ungemein erhöht hätte. So wurde 1830, nachdem **George Stephenson** die Leitung seiner Fabrik bereits seinem Sohne **Robert** übergeben hatte, die erste grössere Eisenbahn in England in Betrieb gesetzt, der dann, wie bereits erwähnt, 1838 als erste in Deutschland die zwischen Nürnberg und Fürth folgte.

Der Dampfmaschine muss nun, wenn sie in Betrieb ist, Arbeit verrichtet, fortwährend Wärme zugeführt werden. Beide Vorgänge müssen also mit einander in ursächlichem Zusammenhange stehen und über diesen suchte zuerst der französische Ingenieuroffizier **Sadi Carnot** (1796—1832) Klarheit zu gewinnen. Er machte darauf aufmerksam, dass der Dampf in der Dampfmaschine sich zunächst unter Wärmezufuhr, dann ohne solche arbeitverrichtend ausdehnt, darauf unter Wärmeabgabe unter Einfluss eines äussern Druckes und endlich ohne Wärmeabgabe zusammengedrückt wird, bis er in seinen anfänglichen Zustand wieder zurückkehrt, dass er also einen Kreisprozess durchläuft, in dessen einer Hälfte ebensoviel Arbeit entwickelt, als in der andern verbraucht wird. Wird Arbeit aus Wärme erzeugt, so muss die Temperatur dieser letztern sinken und nur von diesen Temperaturen, aber nicht von den Vorgängen oder den dabei mitwirkenden Stoffen hängt die Grösse der

erhaltenen Arbeit ab. Die vorhandene Wärmemenge bleibt dabei nach **Carnots** Meinung ungeändert.

Dass diese letztere Behauptung nicht zu Rechte bestehe, sondern dass bei einem jeden solchen Vorgang ein zu der verrichteten Arbeit im Verhältnis stehender Teil der Wärme verschwinde, in Arbeit übergeführt werde, und umgekehrt, sprach 1842 der Heilbronner Arzt **Robert Mayer** (1814—78) zuerst aus. Danach sind Wärme und Arbeit äquivalent, eine bestimmte Menge Wärme muss verschwinden, wenn eine bestimmte Menge Arbeit gewonnen werden soll. Das mechanische Wärmeäquivalent, die Anzahl Arbeitseinheiten, welche durch Aufwand einer Wärmeeinheit erhalten werden können, suchte **Mayer**, wenn auch ganz roh, zu bestimmen, und in einer 1845 folgenden zweiten Arbeit sprach er seine Ansicht allgemein dahin aus, dass bei allen physikalischen, mechanischen und chemischen Vorgängen die vorhandene Kraft eine bestimmte Grösse bleibt, die nur in verschiedenen Formen auftreten kann. Da es nicht nötig ist, dass die vorhandene Kraft als mechanische auftritt, zu welcher Ansicht das Wort Kraft führen könnte, so hat man es lieber durch das andere: Energie ersetzt und nennt das früher als Erhaltung der Kraft bezeichnete Gesetz lieber das der Erhaltung der Energie, damit andeutend, dass diese Kraft in Form von Wärme, Elektrizität, chemischer Anziehung etc. vorhanden sein kann. Die Naturwissenschaft verhielt sich indessen zunächst ablehnend gegen **Mayers** Arbeiten. Machte ihrem Urheber ihre Veröffentlichung bereits Schwierigkeit, so hatte er noch mehr darüber zu klagen,

dass sie gänzlich unbeachtet blieben. Das war für ihn um so ärgerlicher, als kurz nachher drei andere Forscher, **Colding, Joule** und **Helmholtz,** ohne seine Arbeiten zu kennen zu demselben Ergebnisse kamen, obwohl jeder von ihnen von einem verschiedenen Standpunkt ausgehend an die Aufgabe hinantrat. Der Kopenhagener Ingenieur **Colding** (geb. 1815) gelangte 1843 auf philosophischem Wege dazu, indem er davon ausging, dass die Kräfte als unmaterielle, geistige Wesen in Verbindung stehen müssten mit der Macht, welche die Natur lenkt, und wie diese unvergänglich sein. Zur Bestätigung seiner Annahme stellte er sodann Reibungsversuche an, die aber ein zuverlässiges Resultat nicht ergaben. Ein solches verdankt man den unausgesetzten Bemühungen des Salforder Bierbrauereibesitzers **Joule** (1818—89). Gab auch seine erste Arbeit vom Jahre 1843, in der auch er das Prinzip von der Erhaltung der Energie aussprach, noch keine brauchbare Bestimmung des mechanischen Äquivalentes der Wärme, so liess er doch nicht ab, bis er die den Versuchen, es festzustellen, entgegenstehenden grossen Schwierigkeiten überwunden hatte. Seine Arbeiten wurden denn auch mit vollem Erfolg gekrönt und die von ihm herrührende Angabe, dass eine Wärmeeinheit 424 Kilogrammmetern äquivalent ist, wird jetzt allgemein als richtig angenommen, um so mehr, da sie sich auch auf theoretischem Wege hat bestätigen lassen. Die 1847 erschienene Abhandlung des damaligen Militärarztes, jetzigen Professors und Präsidenten der Physikal. Reichsanstalt **Hermann von Helmholtz** (geb. 1821) wiederum dehnte das neue Prinzip mit mathematischer Begründung auf alle physikalischen Vorgänge aus und

gab ihm dadurch die hervorragende Stelle, welche ihm gebührt.

So hatten vier Forscher das Gesetz von der Erhaltung der Energie unabhängig von einander gefunden, nachdem es schon Jahrhunderte früher mehr oder weniger zutreffend angedeutet gewesen war. Es ist dies ein Vorgang, der sich in der Geschichte wiederholt und leicht verständlich ist, wenn man bedenkt, wie die Vorarbeiten eine neue Idee und ihre Folgerungen von selbst dem forschenden Geiste aufdrängen müssen. Dass **Mayer** indessen der erste war, welcher das Gesetz von der Erhaltung der Energie ausgesprochen hat, dürfte jetzt allgemein anerkannt sein.

Die Ansichten von dem Wesen der Wärme musste das neue Prinzip völlig ändern. Namentlich war die Stofftheorie derselben nun nicht mehr zu halten. Denn da an Stelle der Wärme mechanische Arbeit, also Bewegung, auftreten konnte, musste sie selbst eine Art der Bewegung sein, und da sie als solche nicht beobachtet werden konnte, blieb nichts übrig, als sie in die unserer direkten Wahrnehmung entzogene Welt der Atome zu übertragen. Die Annahme einer fortschreitenden Bewegung derselben war freilich ausgeschlossen, diese hätte ja als eine solche der Körper auftreten müssen. Man wurde also mit Notwendigkeit auf eine schwingende Bewegung hingeführt. Anderseits aber forderten die Thatsachen der strahlenden Wärme, dass diese Bewegung nicht nur eine Bewegung körperlicher Atome sein könne, vielmehr musste die Bewegung der Ätherteilchen allein schon hinreichen, Wärmewirkungen hervorzurufen oder wenigstens zu übertragen.

Die beiden möglichen Annahmen von Längs- und Querschwingungen der Ätherteilchen traten nun sogleich auf. Ausgehend von der stechenden Wirkung der strahlenden Wärme entschied sich der Karlsruher Professor **Redtenbacher** (1809—63) für die erstere Ansicht. Die strahlende Wärme erklärte er für Längsschwingungen der Ätheratome. Die Körperatome aber sollten die viel kleineren Ätheratome, die träge aber nicht schwer sind und sich abstossen, um sich in solchem Masse verdichten, dass zwischen ihnen leere Räume entständen, die die Durchmesser der Körperatome mit der Ätherhülle, der Dynamiden, wie sie **Redtenbacher** nennt, an Grösse weit übertreffen. In diese leeren Räume können sich die Ätheratome begeben und geraten dabei in radiale Schwingungen, die um so heftiger werden, je stärker sich der Körper erwärmt. Auf je mehr Erscheinungen aber sich dieser Erklärungsversuch erstreckte, um so komplizierter wurde er. Er wies also nicht die Kennzeichen einer guten Hypothese auf und ist jetzt gänzlich verlassen.

Im Gegensatze zu ihm erfreute sich die mechanische Wärmetheorie, deren Bearbeitung seit 1850 der damalige Züricher, spätere Bonner Professor **Clausius** (1822—88) sich hat angelegen sein lassen bald allgemeiner Anerkennung. Danach erklären sich die Wirkungen und das Wesen der Wärme folgendermassen: Alle Lichtstrahlen sind zugleich Wärmestrahlen, aber ihre Wärmewirkung ist, wie bereits **Young** angenommen hatte, um so grösser, je geringer ihre Brechbarkeit ist. Wie einer auch noch so schweren Schaukel ein Kind eine starke Bewegung mitzuteilen vermag, wenn es ihr jedesmal am Anfang einer

Schwingung einen schwachen Stoss in der Richtung erteilt, in der sich die Schaukel gerade bewegen will, so können auch die in Querschwingungen begriffenen sehr leichten Ätheratome die ungleich schwereren Körperatome in Schwingungen versetzen, wenn auf eine Schwingung der letzteren eine ganze Anzahl Schwingungen der ersteren kommt. Es erhält ja dann das Körperatom jedesmal am Anfang jeder neuen Schwingung einen Antrieb in der Richtung, in der es gerade seine Bewegung von neuem beginnt. Dieser Antrieb wird seine Bewegung verstärken, seine Schwingungsweite vergrössern. Das aber ist der Vorgang der Erwärmung eines Körpers, bei dem er sich ausdehnen muss, weil jedes Atom eines grössern Raums zur Ausführung seiner Schwingungen bedarf. Befinden sich nun die Atome eines kalten festen Körpers nahe aneinander und wird das eine in stärkere Bewegung versetzt, so wird das benachbarte diese Bewegung hemmen, indem es selbst seine Bewegung verstärkt. Die Wärme wird sich in dieser Weise von Atom zu Atom fortpflanzen, ihre Fortleitung begreiflich werden. Je wärmer alsdann ein Körper wird, um so grösser werden die Schwingungsweiten der Schwingungen seiner Atome; endlich müssen sie so gross werden, dass die Bewegung der Atome, genau so wie die eines an einem Seile hängenden Gewichtes, eine kreisförmige wird. Während dieses Übergangs wird die Schwingungsweite nicht vergrössert, die Atome eines fremden, mit dem erwärmten Körper in Berührung befindlichen, z. B. die des Quecksilbers eines Thermometers, können währenddem somit nicht in stärkere Schwingungen versetzt werden. So

lange dieser Übergang stattfindet, erhöht sich demnach die Temperatur des in ihm begriffenen Körpers nicht. Dies ist der Fall, so lange er sich verflüssigt und die Bewegung der Atome eines flüssigen Körpers ist somit keine pendelnde mehr, sondern eine rotierende, wälzende. Dabei kann es vorkommen, dass die Bewegung der Atome zwar stärker, der Kreis, den sie beschreiben, aber kleiner ist, als die Schwingungsweite der pendelnden Bewegung, ja dass sein Durchmesser zunächst noch abnimmt, eine Volumverminderung trotz des Erwärmens eintritt. So gestalten sich die Verhältnisse beim schmelzenden Eise und dem von 0° bis + 4.1° erwärmten Wasser. Bestehen die kleinsten Teile einer Flüssigkeit aus mehreren Atomen, wie die des Wassers aus Sauerstoff und Wasserstoff, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass bei der wirbelnden Bewegung die Atome benachbarter Moleküle einander so nahe kommen, dass sie ihre bisherige Verbindung lösend eine neue eingehen. Die frei gewordenen Atome werden dann ihrerseits Neubildungen bewirken, und da immer so viele Atome vorhanden sind, als die betreffende Verbindung zu ihrem Bestehen bedarf, so wird sie scheinbar ruhig fortbestehen bleiben. Wird aber eine neue Kraft, wie die des galvanischen Stromes, eingeführt, der die Atome einer Art nach der einen, die anderer Art nach der andern Elektrode zieht, so werden zwar in der Mitte immer wieder Neubildungen stattfinden, an den Elektroden aber getrennte Atome auftreten und es würde sich so die bei der Elektrolyse wohl bekannte Wanderung der Jonen erklären. Die einer Flüssigkeit zugeführte Wärme wird die Bewegung der Atome im Kreise

immer geschwinder werden lassen, bis die Zentrifugalkraft in derselben Weise, in welcher sie den Stein von der Schleuder treibt, die kreisförmige Bewegung in eine in tangentialer Richtung erfolgende geradlinige umwandelt. Der Körper verwandelt sich in Dampf und so lange diese Umwandlung der Atombewegung stattfindet, erhöht sich seine Temperatur nicht. Je weniger Atome hindernd im Wege stehen, desto leichter wird das Fortgehen in der Richtung der Tangente stattfinden können, das Verdampfen erfolgt somit lebhafter an der Oberfläche einer Flüssigkeit, als im Innern derselben, und lebhafter in den leeren Raum, als in den lufterfüllten bei sonst gleichen Umständen.

Die Bewegung der Dampf- und Gasteilchen ist demnach eine in gerader Linie fortschreitende, so lange sie nicht andere gleichartige Atome oder eine entgegenstehende Wand trennt. Geschieht dies, so ändern sich Richtung und Geschwindigkeit nach den Stossgesetzen. Dabei werden die gleichartigen Atome, sowie die Atome, welche die Wand bilden, ihrerseits in eine solche Bewegung versetzt, die sie ausführen können, sie werden erwärmt. Die Wand aber muss den Stoss der gegen sie fliegenden Atome aushalten, das eingeschlossene Gas wird also einen Druck auf sie ausüben, der im Verhältnis der Anzahl gegen sie fliegender Atome und der Geschwindigkeit, mit der jedes einzelne auf sie trifft, wächst. Die Anzahl der gegen ein Wandstück treffenden Atome ist nun umgekehrt proportional dem von dem Gase eingenommenen Raume, die Geschwindigkeit steht im Verhältnis der absoluten Temperatur, da zwischen den Molekülen der Gase keine

Anziehung mehr vorhanden ist, und so ergeben sich das Boylesche und das Amontonssche Gesetz als Folgerungen der mechanischen Wärmetheorie. Dann aber muss auch die Ausdehnung eines Gases nur noch von der zugeführten Wärme, also der den Molekülen erteilten Bewegung, abhängen, die Gase müssen alle denselben Ausdehnungskoeffizienten, nämlich 0.003665, zeigen und der absolute Nullpunkt der Temperatur bestimmt sich sofort, wenn man diesen in 1 dividiert, zu — 272.8°. Endlich ergiebt sich als weitere notwendige Folge, dass bei der Verdichtung eines Gases, also seiner Einschränkung auf einen kleineren Raum durch einen Kolben, die Bewegung der von dem Kolben gestossenen und dann auch die aller Gasteilchen verstärkt werden, bei der Verdünnung das Gegenteil stattfinden muss. Bei der Verdichtung muss sich mithin das Gas erwärmen, bei der Verdünnung abkühlen. Im letztern Falle wird in der Luft enthaltener Wasserdampf sich als Nebel niederschlagen, wie es **Papin** beobachtete, als er die in seinem Taucherschiff verdichtete Luft ausströmen liess, eine Erscheinung, um deren Erklärung er damals vergebens **Huygens** anging. Erst **Joule** war hinsichtlich ähnlicher Vorgänge dazu im stande, wies aber die Richtigkeit seiner Ansicht durch besondere Versuche nach.

So beruht die mechanische Wärmetheorie auf zwei Hauptsätzen, auf dem Prinzip der Erhaltung der Energie und dem weitern, der aussagt, dass die Wärme nie von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann. Der zweite Hauptsatz ist zwar zu öfteren Malen angefochten worden, hat sich aber als empirisches Gesetz immer noch behauptet. Bis jetzt ist es freilich

noch nicht gelungen, eine vollständige Theorie der festen und flüssigen Körper zu geben. Das Verhalten der Gase aber lässt sich mit genügender Genauigkeit aus jenen beiden Sätzen ableiten, wie unter anderen 1856 der Berliner Gymnasiallehrer **Krönig** (1822—79) darthat.

War nun die Spektralanalyse im stande gewesen, den Nachweis zu führen, dass in der Nähe der Sonne Hitzegrade herrschen, die einen so schwer schmelzbaren Körper wie Eisen verdampfen, dass also das Innere der Sonne eine Temperatur haben muss, die das Vorhandensein fester Körper völlig ausschliesst, so ergab sich für die mechanische Wärmetheorie die Notwendigkeit, zu versuchen, die Quelle dieser enormen Wärme-Entwickelung ausfindig zu machen. Die von **Kant**, wenn auch als nicht recht begreiflich ausgesprochene Ansicht, dass ein Verbrennungsprozess dafür aufkomme, war längst fallen gelassen worden. **Mayer** vertrat die Ansicht, dass sie von dem Stoss ungeheurer Meteormassen herrühren könnte, die in jedem Augenblick auf die Sonne stürzten, und Sir **W. Thomson** schloss sich derselben an, bis **Helmholtz** den Nachweis führte, dass der Verdichtungsprozess, der den Weltbildungshypothesen von **Kant** und **Laplace** zugrunde lag, hinreiche, um die Sonnentemperatur und die Sonnenstrahlung zu erklären. Dadurch wurde das Interesse an jenen Hypothesen wieder erhöht und der Direktor der Pariser Sternwarte, **Faye**, unternahm es, dieselben dahin abzuändern, sodann weiter auszubilden, dass die neue Annahme nunmehr m stande war, alle Einzelheiten, die das Planetensystem aufwies, zu erklären. Die Fehler der Kantschen Anschauung, auf die wir bereits hinwiesen, bestanden darin,

dass er den Urnebel durch Bewegung in seinem Innern in Umdrehung hatte geraten und dass er die Anziehung während der Bildung der Planeten nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz hatte vor sich gehen lassen. Die erste Annahme verstösst gegen ein mechanisches Gesetz, das Prinzip der Flächen, das **Kant** allerdings noch nicht verwenden konnte, als er seine Hypothese entwarf. **Laplace** fand sich durch dasselbe gezwungen, die Rotation des Urnebels als gegeben anzusehen. Aus der zweiten aber folgte nicht, wie **Kant** annahm, die rechtläufige Rotation der Planeten (im Sinne des Wagenrades), sondern es hätte die entgegengesetzte daraus geschlossen werden müssen.

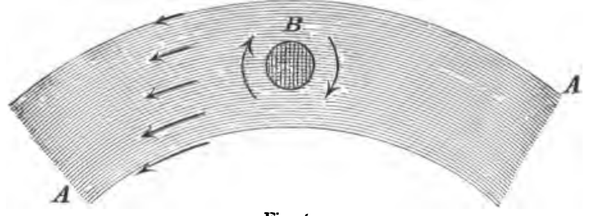


Fig. 69.

Stellt nämlich *A A* Fig. 69 einen Ring von Stoffteilchen dar, den der sich verdichtende Urnebel da zurückliess, wo die Zentrifugalkraft für Teilchen von gewisser Schwere der Anziehung gleich geworden war, so mussten, wenn, wie **Kant** annimmt, **Newtons** Gesetz galt, die inneren Teile die grösste Geschwindigkeit haben. Ist nun *B* der durch Heranziehung der Bestandteile des Ringes sich bildende Planet, so musste er, wie die Figur zeigt, in rückläufige Rotation geraten. **Laplace** machte deshalb die Annahme,

dass die Bildung der Planeten erfolgte, ehe die Sonne sich so weit verdichtet hatte, dass sie bereits das Zentrum der Gravitation darstellte. Dann musste sich der Ring als Teil der ursprünglichen Nebelmasse bewegen, also die Geschwindigkeit der äusseren Nebelmassen die grössere sein. Aus Fig. 70 ist ohne weiteres ersichtlich, dass dann der Drehungssinn der Planeten, wie er es wirklich ist, der rechtläufige werden musste. Als **Laplace** 1796 seine Weltbildungshypothese aufstellte, war zwar bereits der Uranus entdeckt. Seine Prophezeiung, dass die Rotation

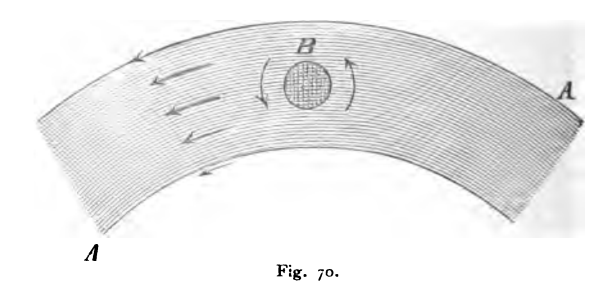



Fig. 70.

des neuen Planeten, wie die aller anderen etwa noch zu entdeckenden Planeten, derselbe sein würde, wie der der sechs unteren, bewahrheitete sich aber nicht. Auf die Rotation der beiden äussersten liess sich nur schliessen, als man ihre Monde entdeckt hatte. Da **Kant** sowohl wie **Laplace** die Entstehung dieser kleineren Massenansammlungen in derselben Weise vor sich gehen lässt, wie die der Planeten, die sie umkreisen, so muss der Sinn ihrer Rotation mit der ihrer Hauptsterne übereinstimmen. Die Monde des Uranus und Neptuns zeigen

aber rückläufige Bewegung und soweit wir bis jetzt wissen zeigt Uranus auch noch die Sonderstellung im Planetensystem, dass seine Umdrehungsachse in der Ebene seiner Bahn liegt. Diese eigentümlichen Verhältnisse finden nun, wie **Faye** gezeigt hat, ihre einfache Erklärung darin, dass die eine rechtläufige Drehung zeigenden unteren Planeten entstanden, ehe die Wirkung der Sonnenmasse so überwiegend wurde, dass das Gravitationsgesetz zur Geltung kam, dass Uranus in der Übergangszeit, und Neptun endlich sich zum Planeten verdichtete, nachdem jenes Gesetz seine Herrschaft im Planetenreiche angetreten hatte. Somit sind jene sechs älter, Neptun jünger, als die Sonne, Uranus aber hat mit ihr dasselbe Alter. Die Eigenwärme der Planeten erklärte sich wie die der Sonne aus ihrem Bildungsprozesse, die seit 1804 entdeckten kleinen Planeten aber sind sicher nicht die Reste eines zersprungenen grösseren, der seine Bahn zwischen Mars und Jupiter beschrieb, wie unter anderen der praktische Arzt und Astronom **Olbers** (1758—1840) in Bremen wollte; sie sind vielmehr auf die nämliche Weise wie die übrigen Planeten entstanden, nur dass die Nähe des mächtigen Jupiter die Entstehung eines einzigen Zentrums der Anziehung in der Sphäre, in der sie sich bildeten, verhinderte.

So wenig Grund man hatte, daran zu zweifeln, dass sich die Erde um ihre Achse drehe, so war es doch noch nicht gelungen, ihre Umdrehung auf experimentellem Wege nachzuweisen. Die Schwierigkeit eines solchen Beweises lag in dem Umstande, dass wir und unsere Umgebung an der Umdrehung teil nehmen. Könnten wir eine Bewegung auf der Erde herstellen, auf die deren

Rotation keinen Einfluss hätte, so müsste sie sofort sichtbar werden. Eine solche Bewegung ist aber die des Pendels, das die Ebene seiner Schwingung im Raume beibehält. Dreht sich die Erde mit uns unter dieser Ebene hinweg, so muss es den Anschein gewinnen, als vollführe die Pendelebene eine Drehung gegen die Erde im entgegengesetzten Sinne. **Foucault** untersuchte nun 1852 die Art, wie in den verschiedenen Breiten diese Bewegung eintreten muss, wenn sich die Erde von Westen nach Osten um ihre Achse dreht, und zeigte dann mit einem nach allen Richtungen beweglich aufgehängten Pendel mit sehr schwerem Gewicht, dass sie wirklich so eintrat. Sein Versuch, der seinerzeit das grösste Aufsehen erregte, ist jetzt Vorlesungsversuch geworden.

Die mechanische Theorie der Wärme hatte diese und das Licht in so nahe Beziehungen gebracht, dass in derselben Bewegung des nämlichen feinen Stoffes beide Wesen gesucht werden musste. In allerneuester Zeit hat der frühere Karlsruher, jetzige Bonner Professor **Hertz** die ersten erfolgreichen Schritte gethan, auch das Wesen der Elektrizität darauf zurückzuführen, nachdem schon **Maxwell** aus der Beobachtung **Faradays**, dass ein kräftiger Magnet die Schwingungsebene polarisierten Lichtes um einen gewissen Winkel zu drehen im stande ist, gefolgert hatte, dass das Licht eine elektromagnetische Erscheinung sei. Danach liegen der Elektrizität auch transversale Ätherschwingungen zugrunde von viel grösserer Wellenlänge, als die des Lichtes, und es gewinnt den Anschein, als ob sie die allgemeinere Erscheinung, das Licht der besondere Fall sei. Gegen die elektrischen Schwingungen

verhalten sich die Isolatoren wie durchsichtige, die Leiter wie undurchsichtige Körper und so dürften sich die elektrischen Schwingungen durch jene wirklich fortpflanzen, nur an diesen aber, die ihr Fortschreiten hemmen, eine wahrnehmbare Wirkung hervorrufen.

Hatte nun die Wissenschaft alles zur Erforschung des Wesens jener Agentien gethan, die die Vermittelung der Einwirkungen der Körperwelt auf unsere Sinne übernehmen, so ist es vor allen **Helmholtz** zu verdanken, dass auch die Wirkungsweise unserer wichtigsten Sinnesorgane, des Auges und des Ohres, eingehend und mit bestem Erfolg durchforscht worden ist. Die Kenntnis, dass das Auge wie eine Camera obscura wirke, fand unser Jahrhundert bereits vor, es bestätigte dieselbe durch den Nachweis des umgekehrten Bildes auf dem Augenhintergrund, das man am toten Auge nach Abtragen der es einhüllenden Sehnenhaut erhielt. Auch bestimmte der Göttinger Professor **Listing** (1808—82) einen in der Linse des Auges gelegenen Punkt, den Knotenpunkt, von solcher Beschaffenheit, dass in ihm sich alle geraden Linien schneiden, welche die Punkte eines Gegenstandes mit den von ihnen im Augenhintergrund entworfenen Bildern verbinden. Grössere Schwierigkeiten machte die Erklärung der Akkommodation, der Fähigkeit des Auges, von ganz verschieden entfernten Gegenständen scharfe Bilder zu entwerfen. Noch bis zum Jahre 1845 glaubte man wohl allgemein, dass dazu sich die Länge des Auges verändere, obwohl **Young** längst die Meinung ausgesprochen hatte, dass vielmehr die Linse, deren Fasern er als Muskelfasern deutete, eine andere Form annehme. Da man aber keine Nervenfasern

fand, die an den Fasern der Linse sich verbreitet hätten, diese auch nicht, wie die Muskelfasern, durch den elektrischen Strom reizbar waren, so konnte **Youngs** Annahme nicht beibehalten werden. Die der Linse abgehenden Muskeln fand man aber in der Iris und so lag nunmehr der Gedanke nahe, dass dieses die Linse bedeckende Organ durch stärkern oder geringern auf sie ausgeübten Druck die stärkere oder geringere Wölbung der Linse verursache. Dass auf solche Weise Formveränderungen der Linse, wie sie bei der Akkommodation eintreten, nicht hervorgerufen werden könnten, zeigte indessen **Helmholtz** und erklärte zugleich die Akkommodation durch das Zusammenwirken der beiden die Linse peripherisch umgebenden Organe, der Zonula Zinnii und des Ciliarmuskels. Die erste, nach dem Göttinger Professor **Zinn** (1727—59) genannte eigentümlich gefaltete Haut spannt die Linse für gewöhnlich an, während sie der ringförmige Ciliarmuskel wie eine lose Umfassung umgiebt. Zieht sich dieser zusammen, so vermindert er die Spannung und die Linse wölbt sich stärker.

Das Auge behält also seine Form stets bei; dass diese aber eine verschiedene sein kann und dass von der relativen Länge des Auges die Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit abhängt, hatte, wie wir sahen, bereits **Keppler** bewiesen. Ändert sich nun die Form des Auges nicht, dann war freilich nicht recht begreiflich, wie ein normales Auge im Alter weitsichtig werden konnte, die Aufklärung über diesen Punkt lieferten eine Anzahl mit den sechziger Jahren unseres Jahrhunderts begonnene Arbeiten des Utrechter Professors **Donders** (1818—89). Das

Ergebnis derselben war, dass nach dem Bau des Auges dasselbe kurzsichtig, normal und übersichtig sein kann, dass aber mit dem Älterwerden die äusseren Schalen der Linse verhärten und dadurch die Einstellungsfähigkeit desselben für nahe Gegenstände beeinträchtigt wird. Es werden demnach alle Augen alterssichtig. Hat es alsdann bei normalen Augen den Anschein, als wären sie weitsichtig geworden, weil sie die fehlende Akkommodation für die Nähe durch Anwendung einer Sammellinse ersetzen müssen, so wird dieser eintretende Mangel bei Kurzsichtigen nicht bemerkbar, weil diese ihre volle Akkommodation in die Nähe nie ausnützen. Gelegentlich eines von ihm zufällig beobachteten Krankheitsfalles wurde dann **Donders** auf eine Ungleichheit der Krümmung der Hornhaut in verschiedenen Meridianen aufmerksam, die, wenn sie, wie sehr häufig, in geringem Grade vorhanden ist, unbemerkt bleibt, in stärkerem Masse auftretend zu Krankheitserscheinungen Anlass giebt, aber immer durch eine Brille mit cylinderförmigen Gläsern gehoben werden kann. **Donders** belegte diese Unregelmässigkeit mit dem Namen des Astigmatismus.

Die genauere Untersuchung der den Augenhintergrund auskleidenden Netzhaut, des empfindlichen Organs des Auges, erlaubte ebenfalls richtigere Ansichten über unser Sehen zu fassen. Sie wurde erleichtert durch die Anwendung des von **Helmholtz** 1851 erfundenen Augenspiegels, eines Hohl- oder Planspiegels, der in der Mitte eine kleine Öffnung mit vorgesetzter Linse besitzt. Indem er das Licht von einer neben dem zu beobachtenden Auge aufgestellten Lampe in dasselbe zurückwirft, gestattet

er dem Beobachter die Untersuchung des lebenden Auges. Mit Hilfe des Augenspiegels konnte man das menschliche Auge in roter Farbe leuchten sehen, wie ein solches Leuchten in grünem Licht an Tieraugen längst beobachtet, aber erst seit 1810 durch den Genfer Professor **Prévost** (1751—1839) als eine Reflexionserscheinung an dem Tapetum, der prachtvoll grün gefärbten, pigmentlosen Stelle auf der Hinterwand dieser Augen, erkannt worden war. Im menschlichen Auge gewahrte man mittels des Augenspiegels den blinden, von **Mariotte** zuerst nachgewiesenen Fleck, und **Donders** bestätigte seine früher schon durch Messung nachgewiesene Identität mit der Eintrittsstelle des Sehnervs nun experimentell. Auch der Endpunkt der Augenachse, die Stelle deutlichsten Sehens, von seiner Färbung der gelbe Fleck genannt, konnte am lebenden Auge beobachtet werden. Da es nun auch gelungen war, in der Netzhaut lichtempfindliche neben unempfindlichen Teilen zu unterscheiden, die mosaikartig neben einander liegen und von denen die ersteren die Enden der Nervenfasern sind, so erklärte sich daraus die Beschränkung unseres Sehvermögens, kontinuierliche Grössen nur in diskreter Form auffassen zu können, während die Reizung verschiedener empfindender Elemente durch räumlich getrennte Punkte eines Gegenstandes die Auffassung von Raumgrössen, die Häufung dieser Elemente im gelben Fleck, den ausser dem Menschen nur noch die Affen besitzen, die genauere Auffassung einzelner Gegenstände oder ihrer Teile und dadurch gesteigerte Aufmerksamkeit auf dieselben im Gegensatz zu zwar gesehenen, aber mehr vernachlässigten zur Folge haben muss.

Dass das Auge aber auch Qualitäten, Farben, unterscheiden kann, hat, wie zuerst **Young** 1807 zeigte, seinen Grund in dem Vorhandensein verschiedener Arten von Nervenfasern, deren er drei annimmt, denen möglichenfalls noch eine vierte hinzuzufügen ist. Allein gereizt, empfindet jede dieser Nervenfasern rot, grün und violett, die dazwischen liegenden Farbenempfindungen entstehen, nach Anleitung von Fig. 71, wenn mehrere dieser Fasern zugleich gereizt werden. In der Figur stellen die geraden

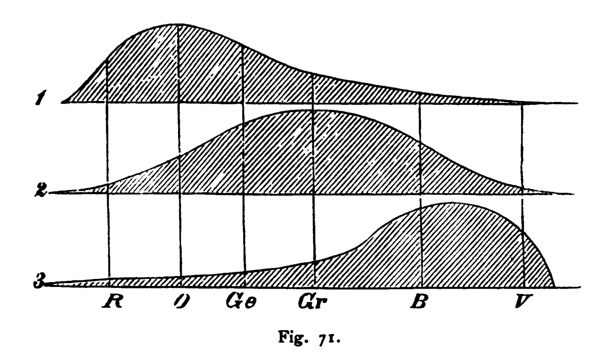



Fig. 71.

horizontalen Linien *1*, *2* und *3* das sichtbare Spektrum dar, die vertikalen die Stellen desselben, wo die durch den untergesetzten Buchstaben bezeichnete Farbe am reinsten erscheint. Die schraffierten Flächen geben die jeder Farbe des Spektrums entsprechenden Empfindungsstärken der drei Faserarten, die gefunden werden, wenn man an der Stelle dieser Farbe eine Senkrechte zieht, und zwar *1* die der roten, *2* die der grünen und *3* die der violetten. So findet man, dass das einfache Rot stark die rotempfindenden, ganz

schwach die beiden anderen Fasern, Gelbgrün stark die grün, schwächer die rot und noch schwächer die violett empfindenden Fasern erregt u. s. w.

Die Annahme **Youngs** hat durch eine eigentümliche Anomalie des Auges, die Rotblindheit, die zuerst an **Daltons** Auge, das sie zeigte, genau untersucht worden ist, ihre Bestätigung erfahren. Rotblinde sehen im Spektrum nur zwei Farben und bezeichnen dieselben meist mit Blau und Gelb, auch machen die äussersten Teile des Rotes keinen Eindruck mehr auf sie. Alle dabei beobachteten Erscheinungen lassen sich aus der Annahme erklären, dass die rotempfindenden Nervenfasern bei ihnen gelähmt sind. In ähnlicher Weise scheinen auch, wiewohl viel seltener, Augen vorzukommen, bei denen die grün empfindenden Fasern nicht funktionieren.

**Youngs** Ansicht erhielt eine weitere wesentliche Stütze durch die Erklärung der farbigen Nachbilder, die 1833 der Genter Professor **Plateau** (1801—1883) gab. Betrachtet man, nachdem man die Augen gehörig hat ruhen lassen, am besten morgens nach dem Erwachen, einen weissen Gegenstand auf dunkelm Grunde, und schliesst sie dann, so sieht man zunächst sein Bild in natürlichen Farben, das positive Nachbild, bald aber ändern sich dieselben und man sieht es lange noch als negatives Nachbild in anderen Farben abklingen, bis es ganz verschwunden ist. Wenn man die untergehende Sonne betrachtet hat, pflegen sich diese farbigen Nachbilder in unangenehmster Weise aufzudrängen. Die Erscheinung beweist einmal, dass der Reiz der Nervenfasern nicht sogleich verschwindet, sie beweist sodann, dass diese Nachempfindung

für die verschiedenen Farben eine verschieden lange Dauer besitzt, woraus folgt, dass die Farben durch verschiedene Organe wahrgenommen werden. In der durch Figur 72 erläuterten Weise hat **Plateau** die Reihenfolge der in dem negativen Nachbild auftretenden Farben aus **Youngs** Annahme erklären können. Durch die Linie *O R* wird die Zeit dargestellt, durch die auf ihr Senkrechten die zugehörigen Stärken der Nachempfindungen der verschiedenen Farben und zwar bis zu der ausgezogenen Linie die des Grün, bis zur punktierten die des Violett und bis zu der

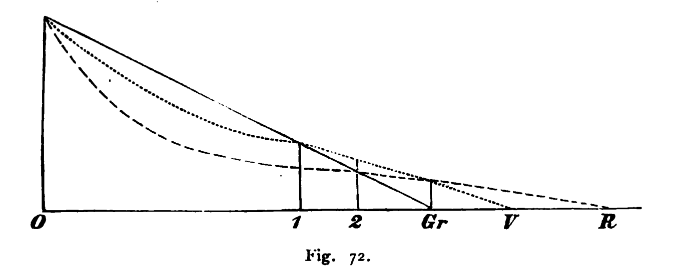



Fig. 72.

gestrichelten die des Rot. Anfangs nimmt also die Nachempfindung des Rot, zuletzt die des Grün am raschesten ab, während sich die des Violett in der Mitte hält. Von der Zeit *0* bis *1* wird also Blaugrün, zur Zeit *1* Blau, *2* Violett und *3* Purpur als Farbe des Nachbildes auftreten, welche Farbenfolge man in der That leicht beobachten kann.

Nachdem **Helmholtz** die vorgeführten wichtigsten Thatsachen des Sehens mit einer Fülle anderer in seiner physiologischen Optik zu einem Gesamtbild vereinigt hatte, wandte er sich in seiner Lehre von den Ton-

empfindungen zu einer ähnlichen erschöpfenden Betrachtung des Gehörorgans. Dem physiologischen, die Stimme und das Ohr behandelnden Teil musste er freilich einen andern vorausschicken, der die physikalischen und musikalischen Grundlagen dieser Empfindungen untersuchte. Aller aus einer Reihenfolge von Tönen im Einklang oder Vielklang bestehenden Musik liegen die regelmässigen Reihenfolgen der Töne in den Tonleitern zugrunde; ihre Entstehung war demnach zuerst nachzuweisen. Aufgestellt waren sie bereits von den Pythagoräern, ihre Nachfolger aber hatten sie in ein ziemlich verwickeltes System gebracht, welches die alte Kirche beibehielt. Da die damalige homophone Musik nur einstimmige oder von der Oktave begleitete Musik verwendete, so konnte sie die Tonleitern benutzen, welche man erhält, wenn man auf dem Klavier der Reihe nach von jedem Tone im Intervall einer Oktave beginnend eine Reihenfolge von acht Tönen anschlägt, ohne die Obertasten zu benutzen. Dieses Tonsystem verlor seine Brauchbarkeit nicht, als sich aus der homophonen die polyphone Musik entwickelte, die mehrere Stimmen nebeneinander durchführt. Erst als das Bedürfnis des Kirchengesanges in der protestantischen Kirche, an dem die Gemeinde teilnahm, ein festeres Gefüge der Harmonien erforderte, bildete sich die moderne, harmonische Musik aus, bei der jeder Ton der Tonleiter in seiner Beziehung zum Grundton gedacht wird. Dadurch erhielt die Harmonie eine ganz andere Bedeutung und für längere Tonstücke musste die Tonleiter vor allen anderen den Vorzug erhalten, welche die grösste Zahl verwandter Akkorde, solcher Akkorde, deren Folge dem Ohre

die Beziehung zum Grundtone leicht hervortreten lässt, besitzt. In dieser Hinsicht steht allen anderen die Durtonart voran, ihr folgt die Molltonart, deren Gefüge aber so viel weniger fest ist, dass in ihr auch noch einige der anderen alten Tonleitern ausdauern konnten. Daraus folgt schon, dass bei der Bildung der Tonleitern für die Willkür Spielraum blieb und es giebt Völker, welche Tonleitern mit weniger als acht Intervallen ihrer Musik zu Grunde legen.

Weiter handelte es sich um die Erklärung der Harmonie. Schon **Mersenne** hatte bei Gelegenheit des Studiums der Saitentöne bemerkt, dass ihr Klang neben dem lauten Grundton noch andere, weniger laute, höhere Töne enthielt, welche namentlich nach dem Erlöschen des Grundtones gut zu hören waren. **Cartesius**, dem er seine Entdeckung mitteilte, erklärte die Entstehung dieser Flageolet- oder harmonischen Töne, wie man sie bald nannte, daraus, dass eine schwingende Saite nicht nur als ganze, sondern auch in ihren Hälften, Dritteln u. s. w. schwänge. Kurz darauf fand der Oxforder Kaplan **Noble** (gest. um 1687) in Übereinstimmung mit **Cartesius'** Erklärung, dass eine angeschlagene Saite andere, neben ihr aufgespannte zum Mittönen bringt, wenn deren Länge $1/2$, $1/3$, $1/4$ u. s. w. der tönenden ist. Der Pariser Professor **Sauveur** (1653 bis 1716) bestätigte **Mersennes** Entdeckung und gab die auch jetzt noch üblichen Mittel, die Teilschwingungen einer Saite durch Berührung der Knotenpunkte hörbar und durch aufgesetzte Papierreiterchen sichtbar zu machen, an. Der Kapellmeister des Königs von Frankreich **Rameau** (1683—1764) endlich benutzte die Flageolettöne zur

Erklärung der Konsonanz, indem er annahm, dass konsonierende Töne solche seien, welche übereinstimmende Flageolettöne besässen.

In England und Frankreich unterschied man die Flageolettöne als hohe Obertöne von den tiefen, wie man die bereits erwähnten Kombinationstöne nannte. Für diese fehlte jede Erklärung, bis sie 1759 **Lagrange** auf die Schwebungen oder Stösse zurückführte, welcher Ansicht 1800 **Young** beitrat. Die Schwebungen, in regelmässigen Zwischenräumen erfolgende Anschwellungen eines Tones, waren den Orgelbauern seit langer Zeit wohl bekannt. Aber erst **Sauveur** gelang ihre Erklärung. Da sie nur entstehen, wenn zwei Orgelpfeifen nicht ganz gleiche Töne geben, so muss, wenn in einem gewissen Moment von beiden Verdichtungen ausgehen, nach einiger Zeit eine Verdichtung von der einen, gleichzeitig aber eine Verdünnung von der andern ausgehen, da in derselben Zeit der höhere Ton mehr Verdichtung entsendet, als der tiefere. Wurde also zuerst der Ton stärker, so wird er nun schwächer und dies muss sich in regelmässigen Zwischenräumen wiederholen. Da nun die Stösse um so rascher auf einander folgen, je grösser der Unterschied der Töne ist, so glaubten **Lagrange** und **Young**, dass sie die Empfindung eines neuen Tones verursachen müssten, wenn ihre Anzahl in der Sekunde grösser wurde, als die Schwingungszahl des tiefsten noch hörbaren Tones. Obwohl die Berechnung der Anzahl der Stösse und die Schwingungszahl des gehörten Kombinationstones gleiche Werte ergab und die Annahme der genannten Forscher somit wesentlich unterstützte, so wies doch

**Helmholtz** nach, dass auch bei einem noch so raschen Wechsel der Stösse diese als solche noch recht wohl gehört werden könnten. Zugleich zeigte er auf mathematischem Wege, dass bei Schwingungen, die so grosse Schwingungsweiten haben wie die Luftschwingungen, zwei Gruppen von Kombinationstönen, die bekannten, deren Schwingungszahl der Differenz der Schwingungszahlen der sie verursachenden Töne gleich ist, und bis dahin noch nicht beobachtete, deren Schwingungszahl gleich der Summe jener Schwingungen ist, auftreten müssen. Es gelang ihm auch, die so berechneten Summationstöne experimentell nachzuweisen. Dieselbe Untersuchung führte **Helmholtz** zu einer Erklärung der Dissonanz und Konsonanz. Er fand, dass die Stösse, wenn sie so rasch erfolgten, dass sie einzeln nicht mehr aufgefasst werden konnten, dem Tone eine gewisse Rauhigkeit verliehen. So rasche Stösse aber begleiten stets die Klänge, die wir als dissonierende bezeichnen. Konsonierende Klänge werden dann Klänge ohne Stösse sein, aber solche giebt es ausser der Oktave nicht, da bei allen anderen die Obertöne oder Kombinationstöne in Schwebungen kommen. Je höher aber die Obertöne liegen, um so weniger bemerkbar wird die von ihnen dem Klange erteilte Rauhigkeit sein und so erklärte sich aus **Helmholtzs** Ansicht auch der Rangunterschied der Konsonanzen, von denen einzelne, wie die Quart, als solche erst von der neuern Musik anerkannt worden sind.

Aus dem Vorhandensein der Obertöne gelang es **Helmholtz** auch das Wesen der Klangfarbe zu erklären. Sie hängt lediglich davon ab, ob und in welcher bezüglichen Stärke Obertöne in dem Klange vertreten sind.

Ein Klang, der sehr arm an Obertönen ist, wie der der Stimmgabel oder die Töne der Flöte, klingt dumpf und weich, ein solcher mit vielen, wie der Geigenton, macht dagegen einen scharfen, durchdringenden Eindruck. In ähnlicher Weise konnte **Helmholtz** den Klang der Vokale aus den in ihnen enthaltenen Obertönen erklären, die sich jedoch von denen der musikalischen Töne dadurch unterscheiden, dass ihre Höhe von der Höhe des Grundtones, unabhängig ist, einem jeden Vokal also unveränderliche Obertöne entsprechen, einerlei ob er auf einen hohen oder einen tiefen Ton gesungen wird. Veranlassung zu dieser besondern Art von Obertönen giebt die Resonanz der Mundhöhle, welche beim Sprechen und Singen verschiedener Vokale eine verschiedene Gestalt erhält. Mitklingen der Mund- und Nasenhöhle, Geräusche beim Vorbeistreichen der Luft an den Wänden beider charakterisiert sodann die Konsonanten.

Die Aufnahme der Schallempfindungen durch das Ohr hatte der Konservator des Physikalischen Kabinetts im Collège de France **Savart** (1791—1841) sich so vorgestellt, dass dem Trommelfell die Schallschwingungen mitgeteilt würden und dass dieses sie durch Vermittelung der Gehörknöchelchen auf das innere Ohr übertrüge. Mittels des Experimentes hatte er die Fähigkeit gespannter Membrane nachgewiesen, durch Töne, die in ihrer Nähe erklingen, in Schwingungen zu geraten. Wie aber die eigentliche Empfindung zu stande komme hatte er unerörtert gelassen. Die Bestimmung der Ohrmuschel sah er in einer Verstärkung des Schalles. Was zunächst den letzten Punkt anbetrifft, so wurde von zoologischer Seite darauf aufmerksam gemacht,

dass die Ohrmuschel nur ein rudimentäres Organ sei. Sodann zeigte **Helmholtz**, dass das äussere Ohr, die Gehörknöchelchen mit eingeschlossen, allerdings die Schallschwingungen in das innere Ohr übertrügen, sie aber dabei nicht verstärkend, sondern dämpfend. Aus der Einrichtung des innern Ohres glaubte er ferner schliessen zu müssen, dass der Vorhof und die halbkreisförmigen Kanäle die Wahrnehmung der Geräusche, die Schnecke die der Töne vermittelten. Die Fasern der in der Mitte des Ganges der letzteren quer ausgespannten Basilarmembran seien den Saiten eines Klaviers zu vergleichen, die in ihrer Nähe hervorgebrachte Klänge wiedergäben. Ihre Beschwerung durch zarte, knorpelige Bögen bewirke, dass jede Faser durch einen bestimmten Ton zum Mitschwingen angeregt werde, vielleicht auch zwei benachbarte zusammen, aber weniger stark schwingend noch eine Tonempfindung bewirken könnten. An die Fasern dieser Membran geht in der That ein Teil der Gehörnervenfasern, um dort zu endigen. Da aber ihre Enden in spröde Härchen auslaufen, wie die des übrigen Teils dieser Fasern, die in den Vorhof gehen, da ferner einer Anzahl von Tieren, namentlich den für Tonempfindungen so empfänglichen Vögeln, die Schnecke fast ganz fehlt, da endlich niedere Tiere, Insekten und Crustaceen, Hörhärchen besitzen, welche beim Erklingen bestimmter Töne in sichtbare Schwingungen geraten, so haben andere Forscher in den Härchen des innern Ohr allein die die Empfindung vermittelnden Teile sehen wollen, ohne dabei freilich die Fähigkeit unseres Ohres, auch nur wenig von einander unterschiedene Töne scharf zu trennen, vollständig erklären zu können.

Wir sind am Ende unserer Wanderung. Mit den Zeiten grauesten Altertums beginnend, haben wir das Wachsen der Erkenntnis physikalischer Thatsachen, die Entwickelung daraus entnommener physikalischer Lehren bis zur Gegenwart verfolgt. Durch die Eigenart seines Erkenntnisvermögens gezwungen, musste der menschliche Geist immer und immer wieder versuchen, Widersprechendes unter einheitliche Gesichtspunkte zusammenzufassen. Mit Staunen erfüllte es uns zu sehen, wie die Natur selbst diesem Streben entgegenkam, und wie anfangs Auseinandergehendes immer mehr zusammenfloss. Schon ist es gelungen, alle Wirkungen in die Ferne, also alle Kräfte mit alleiniger Ausnahme der Massenanziehung, auf Schwingungen zurückzuführen, seien dies nun Schwingungen der Luft oder solche des Lichtäthers. Licht und Wärme sind identisch geworden, die Elektrizität ist im Begriff sich anzuschliessen.

Gegenwärtig aber schickt sich auch die Chemie an, der Einheit der Kraft die Einheit des Stoffes an die Seite zu setzen. Ihr ist es gelungen, indem sie die chemischen Grundstoffe nach der Grösse ihrer Äquivalentzahlen ordnete, ein System aufzustellen, in dem die chemisch ähnlichen Elemente in regelmässigen Perioden auf einander folgen. Neu entdeckte haben bisher noch vorhandene Lücken jedesmal ausgefüllt, und so hat man den Versuch gemacht, aus dem Urnebel, aus dem die Sonne und die Planeten sich, wie wir glauben, gebildet haben, auch die chemischen Grundstoffe so entstehen zu lassen, dass die fortschreitende Verdichtung des einen den im System folgenden gab. So ist vielleicht der Äther der ursprüngliche Grundstoff, er entwickelt den Wasserstoff, aus dem sich die übrigen Elemente

verdichten. Noch ist dies freilich nichts mehr, als eine kühne Hypothese, aber der empirischen Grundlage entbehrt sie doch nicht ganz.

Dass wir ihr mit aller Vorsicht entgegentreten, darauf weist uns der Gang der Entwickelung der Naturlehre hin. Nicht immer ging der Fortschritt in stetigem Zuge weiter, oft schlug er falsche Bahnen ein und die Wissenschaft musste umkehren, wenn die Natur selbst sie durch widersprechende Beobachtungen dazu zwang. Gerade die mit der grössten Mühe ausgearbeiteten und festgehaltenen Theorien pflegten dann am ersten zu fallen und wir können uns der Besorgnis nicht erwehren, dass dieses mit dem Schatze unseres gegenwärtigen Wissens auch einmal so gehen möchte. Aber wenn der Wissenschaft auch das Kriterium reiner Wahrheit fehlt und immer fehlen wird, — indem sie die Herrschaft über die machtvollen und widerstrebenden Kräfte der Natur sich errang, indem sie das Dasein nie gesehener Planeten berechnete, den Lichtstrahlen ihren Weg durch die feinsten Labyrinthe wunderbarer Krystallbildungen vorschrieb und Töne zu Gehör brachte, deren ungeahntes Vorhandensein ihr erst die mathematische Theorie verriet, hat sie wohl bewiesen, dass ihre Wege nicht von der Wahrheit hinweg, vielmehr in immer grösserer Annäherung zu ihr hin führen.

# Litteratur-Verzeichnis.

Im Interesse ununterbrochener Lektüre habe ich es unterlassen, Zitate unter dem Texte zu geben, und statt ihrer das folgende Litteratur-Verzeichnis hinzugefügt.

Von den Abhandlungen in Gilberts, Poggendorffs, Wiedemanns und Liebigs Annalen, den Annales de chimie et de physique, den Mémoires und Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie française, den Philosophical Transactions of the Royal Society, dem Journal des Savants, den Actis Eruditorum, der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure und der Zeitschrift für Instrumentenkunde, Schlömilchs Zeitschrift für angewandte Mathematik u. s. w. sind nur die wichtigeren erwähnt. Die übrigen sind nach der Zeit ihres Erscheinens geordnet.


1530. Agricola, De re metallica. Basil. 1530. Leipzig 1540. Deutsch Basel 1621.

1543. Coppernicus, De revolutionibus orbium coelestium. Norimbergae.

1565. Opera Cusani. Basileae.

1566. Fabricius, De metallibus rebus. Tiguri.

1586. Stevin, Beghinselen der Weegkonst. Leyden.

1589. De la Porta, Magia naturalis sive de miraculis rerum naturalium Libri XX. Neapolis. Mehrfach übersetzt.

1596. Tychonis Brahe Dani epistolarum astronomicarum Liber I. Uraniburgi.

1600. Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure. Physiologia nova. London.

1602. Tycho Brahe, Astronomiae instauratae Mechanica. Norimbergae.

1624. Leurechon, La Recréation mathematique. Mussiponto. (Pseudonym unter van Etten.)

1626. Mersenne, Opera mathematica. Parisii.

1627. Mersenne, Traité de l'Harmonie universelle. Paris.

1630. Bramer, Beschreibung eines sehr leichten Perspektive und Grund reissenden Instrumentes auf einem Stande. Kassel und Frankfurt.

1631. Kircher, Ars magnetica. Herbipoli.

1636. Schwenter, Deliciae mathematicae oder Mathematische und philosophische Erquickstunden. Nürnberg.

1637. Cartesius, Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la verité dans les sciences, plus la Dioptrique, les Météores et la Géometrie. Leyden. Lateinisch Amstelodami 1644.

1638. Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, übersetzt und herausgegeben von v. Oettingen. Leipzig 1890 u. 91.

1648. Bramer, Bericht zu M. Jobsten Burgi seligen geometrischen Triangulierinstrument. Kassel.

1655. Galilei, Opere. Bologna.

1657. Schottius, Mechanica hydraulica-pneumatica. Herbipoli.

1658. Gassendi, Opera Omnia. 6 Bde. Lugduno Batavorum.

1660. Boyle, New Experiments, physico-mechanical, touching the spring and its effects made in the most part in a new pneumatical engine. Oxford. 2. u. 3. Auflage London 1662 u. 82. Viele Abhandlungen in den Philosophical transactions.

1664. Schottius, Technica curiosa sive mirabilia artis. Herbipoli.

1666. Monconys, Journal de voyages. Lyon. 2. Auflage 1695. Deutsch von Junker 1697.

1672. Guericke, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo spatio primum a R. P. Gaspare Schotto, nunc vero ab ipso Auctore perfectius edita, variisque aliis Experimentis aucta. Quibus accesserunt simul certa quaedam de Aeris Tondere circa Terram; de virtutibus mundanis et Systemate Mundi Planetorio, sicut et de Stellis fixis ac Spatio illo Immenso quo tam intra quam extra eas funditur. Amstelodami.

1674. Noble, On the trembling of consonant strings. Mitgeteilt von Wallis in den Philosophical Transactions 1677.

Papin, Expériences du vuide avec la description des machines qui servent à les faire. Paris.

1675—1712. Papin, Verschiedene Arbeiten in Philosophical Transactions, Journal des Savants, Acta Eruditorum, Birch, the History of the Royal Society etc.

1679. Castelli in Vorrede zu Fermats Varia opera mathematica. Tolosae.

1681. Senguerd, Philosophia naturalis. Lugd. Bat. 2. Aufl. 1685.

Papin, A new Digestor or Engine for Softaing Bones, containing the Description of its Make and Use in Cookery, Voyages at Sea, Confectionary, Making of Drinks, Chymistry and Dying. London. Fortsetzung 1687.

1685. Sturmius, Collegium experimentale sive curiosum. Norimbergae.

1687. Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica. London. 3. Aufl. 1726.

1688. D(alencé), Traittez des thermomètres. Amsterdam.

1693. Wallis, De Algebra Tractatus. Oxoniae.

Veterum mathematicorum opera. Parisiis.

1694. Renaldini, Naturalis philosophia. Patavii.

1695. Papin, Recueil de diverses Pièces touchant quelques nouvelles Machines. Kassel. Lateinisch Marpurgi 1695.

1700—1716. Sauveur, Verschiedene Abhandlungen in Mém. Par. hist.

1701. Halley, A general chart, shewing at one view the variation of the compass. Philos. Transact.

1703. Amontons, Le Thermomètre reduit à une mesure fixe et certaine et le moyen d'y rapporter les observations faites avec les anciens Thermomètres. Hist. de l'Acad. royale des Sc. Paris 1705.

1704. Newton, Optics. 3. Aufl. 1728. Viele Abhandlungen in Philos. Transact.

1707. Papin, Ars nova aquam ignis adminiculo elevandam. Kassel.

1710. Chr. v. Wolf, Anfangsgründe aller mathematischen Wissenschaften. Halle.

1715. Senguerd, Rationis atque Experientiae connubium. Rotterodami.

1719. 's Gravesande, Physices Elementa mathematica experimentis confirmata, sive Introductio ad Philosophiam Newtonianam. Leydae. 3. Aufl. 1742.

1721—23. Chr. v. Wolf, Experimenta physica. 3 Teile. Halle. 2. Aufl. 1745.

1722. Rameau, Traité de Harmonie. Paris.

1723—39. Leupold, Theatrum machinarum generale. 9 Bde. Lipsiae.

1724. Chr. Hugenii, Opera varia. Lugd. Bat. 4 Bde.

1724. Desaguiliers, A course of experimental philosophy. London. Ins Holländische übersetzt 1736 Amsterdam.

1724 und 25. Fahrenheit, Araeometri novi descriptio et usus. Philos. Transact. 33.

1727. Schulze, Scotophorus pro phosphoro inventus: seu experimentum curiosum de effectu radiorum solarium. Acta Academiae Nat. Cur. I.

1728. Weidleri, Tractatus de Machinis hydraulicis. Vitembergae 2. Aufl. 1733.

Chr. Hugenii Opera reliqua. Amstelodami. 2 Bde.

Chr. Hugenii Opuscula posthuma. Amstelodami. 2 Bde.

1730. Réaumur, Règles pour construire des thermomètres dont les degrez sont comparables. Mém. de l'Acad. Franç. des Sciences.

1738. Leibnitii Epistolae ad diversos, ed. Kortholtus. Lipsiae.

1739. Wolfius, Mulierum Graecarum Fragmenta et Elogia. Göttingae.

van Musschenbroek, Beginsels der Natuurkunde. Leiden.

1740. Martin, A New and Compendious System of Optics. London.

1743. Nollet, Leçons de Physique expérimentale. Paris.

1750. Rameau, Principe d'Harmonie. Mémoires de Paris.

1751 und 52. Sulzer, Theorie der angenehmen und unangenehmen Empfindungen. Mém. de l'Acad. de Berlin.

1753. von Uffenbach, Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen, Holland, Engelland. Frankf. und Leipz.

Nollet, Recueil des Lettres sur l'électricité des corps. 3 Vol. Paris.

1754. Nollet, Leçons de physique expérimentale. 6 Bde. Amsterdam.

1756. Birch, History of the Royal Society 4 Bde. London.

1757. Euler, Recherches sur la déclinaison de l'aiguille aimantée. Mém. de l'Académie de Berlin.

Musschenbroek, Introductio ad philosophiam naturalam. Lugd. Bat.

1758. Montucla, Histoire des mathématiques. Paris. 2 Bde. 2. Aufl. 1799—1802.

1759. Lagrange, Recherches sur la propagation du Son. Miscellan. Soc. Taurin. I.

1762. Tob. Mayer, Theoria magnetica. Gött. gel. Anz.

1766. Wilcke, Försök till en magnetisk inclinations Karta. Vetensk. acad. Handl. 1768. Übers. von Hanson.

1767—70. Priestley, History and present state of electricity with original experiments. London. Deutsch von Krünitz. Berl. und Stralsund 1774.

1770. Nollet, L'art d'expériences ou avis aux amateurs de la Physique. 3 Bde. Paris.

1771. Bernoulli, Lettres astronomiques. Berlin.

1772. Priestley, History and present state of discoveries relating to vision, light and colours. 2 Bde. London. Deutsch von Klügel. Leipz. 1775.

Deluc, Recherches sur les modifications de l'Atmosphère. Genève.

1775—76. Volta, Lettere diverse sull' elettroforo perpetuo. Scelta di Opuscoli di Milano. Bd. 8, 12, 14, 20.

1778. van Swinden, Dissertation sur la comparaison des Thermomètres. Amsterdam.

1779. Lambert, Pyrometrie. Augsburg.

1782. Volta, Dal modo di rendere sensibilissima la più debole elettricità sia artificiale, sia naturale. Philos. Trans. (ital. und englisch).

1784. Luz, Vollständige und auf Erfahrung gegründete Beschreibung von allen sowohl bisher bekannten, als auch einigen neuen Barometern, nebst einem Anhang seine Thermometer betreffend. Nürnberg und Leipzig.

1786. Wernsdorf, Poetae latini minores. Altenburgi.

1789. Ingenhousz, Nouvelles expériences et observations sur divers objets de Physique. Paris. 2 Bde.

1790. Volta, Descrizione dell' Eudiometro ad aria inflammabile. Brugnatelli. Annali di Chimica, 5.

1791—1868. Strieder, Grundlage zu einer hessischen Gelehrten- und Schriftstellergeschichte. 23 Bde. Marburg. (21 und 22 Kassel.)

1791. Galvani, De viribus electricitatis in motu muscularis commentarius. Comment. Bonon. Bd. 7. Deutsch von Joh. Mayer. Prag 1793.

1792—93. Volta, Schriften über die tierische Elektrizität. Aus dem Italienischen von Mayer. Prag.

1792. Reil, Über tierische Elektrizität. Grens Journal der Physik. 6.

1795. Beckmann, Beyträge zur Geschichte der Erfindungen. Leipzig.

1796. Bode, Vitruvius. Göttingen.

1797. Venturi, Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonard de Vinci. Paris.

1797—99. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. 2 Bde. Berl.

1798. Rumford, An inquiry concerning the nature of heat and the mode of its communication. Phil. Trans.

1798—1805. Fischer, Physikalisches Wörterbuch. 7 Bde. Göttingen.

1799. Davy, Essay on heat, light and the combination of light in contribution to physikal and medical knowledge, coll. by Beddoes. Bristol. Oder Collected Works. London. Bd. 2.

1800. Malus, Abhandlung über das Licht (nicht veröffentlicht). Arago, Sämtliche Werke. Bd. 3.

Salverte, Annales de Chimie et de Physique 27. Gilberts Annalen 6.

W. Herschel, Investigation of the power of the prismatic colours to heat and illuminate objects; with remarks, that prove the different refrangibility of radiant heat. Experiments on the refrangibility of the visible rays of the Sun. Experiments on the solar and on the terrestrial rays that occasion heat. Philos. Transact.

Kästner, Geschichte der Mathematik. Göttingen.

1800—3. Sprengel, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Arzneykunde. 5 Bde. Halle.

1801. Dalton, On the constitution of mixed elastic fluids and the atmosphere. Nicholson Journ. 5.

W. Herschel, Observations tending to investigate the nature of the Sun, in order to find the causes or symptomes of its variable emission of light and heat. Philos. Transact.

Ritter, Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus. Gilb. Ann. 9.

Pfaff, Versuche mit der Voltaischen Säule. Gilb. Ann. 7.

Young, On the theorie of light and colours. Phil. Trans. 1802.

Biot, Rapport sur les expériences de Volta. Mém. de l'Institut 5. 1804. Gilb. Ann. 10.

van Marum, Lettre à Mr. Volta concernant des expériences sur la colonne éléctrique faites par lui et le professeur Pfaff. Harlem. Gilb. Ann. 10.

1801—8. Fischer, Geschichte der Physik. 8 Bde. Göttingen.

1802. Gay-Lussac, Recherches sur la dilatation des gaz et des vapeurs. Ann. de Chim. et de Phys. 43. Gilb. Ann. 12.

1802. Gautherot, Sur les causes qui développent l'éléctricité dans les appareils galvaniques. Journ. de phys. 56. 1803. Voigt, Magazin für den neuesten Zustand der Naturwissenschaften 4.

Wollaston, A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflections. Phil. Trans.

Young, An account of some cases of the production of colours not hitherto described. Phil. Trans.

1803. Dalton, On the absorption of gases by water and other liquids. Mem. of the Manch. Society 5.

Ritter, Versuche mit Voltas galvanischer Batterie. Voigts Magazin für den neuesten Zustand der Naturwissenschaften 6.

1804. Rumford, Mémoires sur la chaleur. Paris.

Leslie, Experimental inquiry into the nature and properties of heat. London.

Biot, Mém. sur la propagation de la chaleur et sur un moyen simple et exacte de mesurer les hautes températures. Journ. des mines 18.

Young, Experiments and calculations relative to physical optics. Phil. Trans.

1804. Buttmann, Über die Wasserorgel und Feuerspritze der Alten. Abh. der histor.-philol. Klasse der Kgl. Ak. der Wissensch. in Berlin 1804—11.

1805. Brugnatelli, Nichtexistenz der sogenannten Ladungssäule Ritters Journ. de chim. et de phys. 6. Gilb. Ann. 19.

1806. Humboldt und Gay-Lussac, Observations sur l'intensité et l'inclinaison des forces magnétiques faites en France, en Suisse, en Italie et en Allemagne. Mém. d'Arcueil 1. 1807.

1807. Dalton, A new system of chemical philosophy. Manchester 1808—17.

Young, A course of lectures on natural and the mechanical arts. London.

1808. Gay-Lussac, Sur les combinaisons des substances gazeuses, les uns avec les autres. Mém. d'Arcueil 2. 1809.

Malus, Sur une propriété de la lumière refléchie par les corps diaphanes. Mém. d'Arcueil 2. 1809.

Vitruvii Pollionis Architectura. Ed. Schneider. 4 Bde. Leipzig.

1808—9. Gay-Lussac & Thénard, Extrait des Mémoires lu à l'Institut. Mém. d'Arcueil 2. 1809.

1809. Sömmering, Über einen elektrischen Telegraphen. Denkschriften der Akademie der Wissensch. in München 2. 1809 bis 1810.

1811. Avogadro, Essai d'une manière de determiner les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans les combinaisons. Journal de physique. Übersetzt von Ostwald. Leipzig: Ostwald, Klassiker der exakt. Naturw. 8. 1890.

Poisson, Sur la distribution de l'éléctricité sur la surface des corps conducteurs. Mém. de l'Institut.

1813. Seebeck, Einige neue Versuche und Beobachtungen über Spiegelung und Brechung des Lichtes. Schweiggers Journ. 7.

1814. Ampère, Lettre à Berthollet sur la détermination des proportions dans lesquelles les corps se combinent d'après le nombre et la disposition respective des molécules dont leurs particules intégrantes sont composées. Ann. de chim. et de phys. 90. Übers. v. Ostwald. Ostwald, Klassiker der exakten Naturw. 8. Leipzig 1890.

1814. Fraunhofer, Bestimmung der Brechung und des Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Gläser. Denkschr. der Münchener Akad. d. Wissensch. 5. 1814—15. Gilb. Ann. 56.

1815. Brewster, Effects of pressure in producing that crystallisation which formes two oppositely polarized images. Phil. Trans.

1816—26. Fresnel, Viele Arbeiten in den Ann. de Chim. et de Phys.

1817. van Swinden, Verhandelingen over Huygens als uitvinder der slinger-uurwerken. Verh. van het Kon. Nederl. Instituut van Wetensch. 3. Amsterdam.

Dulong et Petit, Recherches sur la mesure des témperatures et sur les lòis de la communication de la chaleur. Ann. de Chem. et de Phys. 10.

1819. Dulong et Petit, Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur. Ann. de Chem. et de Phys. 10.

J. Herschel, On the hyposulphurous acid and its compounds. Edinb. philos. Journ.

Hansteen, Untersuchungen über den Magnetismus der Erde. 1. Bd. Christiania.

1820. Örsted, Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. Hafn. Schweigg. Journ. 10.

Ampère, Sur l'action des courans voltaiques. Ann. de Chim. et de Phys. 15.

Schweigger, Über Elektromagnetismus und den elektromagnetischen Multiplikator. Schweigg. Journ. 31—33.

1821. Davy, On the magnetic phenomena produced by electricity. Philos. Transact.

Brewster, Monochromatic lamp for microscopical purpose. Philos. Transact.

Fraunhofer, Neue Modifikation des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen und Gesetze derselben. Denkschr. der Münch. Akad. der Wissensch. 8. 1821/22. Gilb. Ann. 74.

Ampère, Sur l'état magnétique des corps qui transmettent un courant d'éléctricité. Ann. de Chim. et de Phys. 16.

1821 und 24. Ampère, Description d'un appareil électro-dynamique. Ann. de Chim. et de Phys. 18 und 26.

1822. Fourier, Théorie analytique de la chaleur. Paris. Deutsch von Weinstein. Berlin 1884.

Ampère, Recueil d'observations électro-dynamiques. Paris.

1822—23. Seebeck, Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz. Abh. der Berl. Akad. 1825.

1823. Faraday, On fluid chlorine. Philos. Transact.

Becquerel, Sur le développement de l'électricité par la pression. Ann. de Chim. et de Phys. Schweiggers Journ. 10.

Ampère, Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques. Paris.

1825. Sturgeon, A complet set of novel electro-magnetic apparatus. Trans. of the Society of arts, 1827.

Arago, Sur les déviations que les métaux en mouvement font éprouver à l'aiguille aimantée. Mém. de l'Institut 28. Pogg. Ann. 3.

E. Weber und W. Weber, Die Wellenlehre auf Experimente gegründet. Leipzig.

Nobili, Sur un nouveau galvanomètre. Bibl. univers. 29.

1825—45. Gehlers physikalisches Wörterbuch. 2. Aufl. Leipzig.

1826. Ohm, Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet. Berlin. Schweigg. Journ.

Ampère, Théorie des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience. Paris.

1826—55. Cauchy, eine grosse Anzahl Abhandlungen in den Mém. de l'Acad. des Sc. und den Compt. rend.

1827. J. Herschel, On the light emitted by lime. Edinb. Journ. of Science 6.

Poggendorff, Neues Instrument zum Messen der magnetischen Abweichungen. Pogg. Ann. 7.

1828. Talbot, Some account of the art of photographic drawings. London 1839.

1829. Poisson, Sur l'équilibre et le mouvement des corps solides élastiques et de fluides. Ann. de Chim. et de Phys. 42.

1830. Sturgeon, Experimental Researches in Electro-magnetism, Galvanism etc. London.

Dulong, Exposé de recherches faites par ordre de l'Académie pour déterminer les forces élastiques de la vapeur d'eau à des hautes températures. Ann. de Chim. et de Phys. 43.

1831 und weiter. Melloni, viele Abhandlungen in den Ann. de Chim. et de Phys.

Faraday, Exper. Researches on Electricity. London. Phil. Trans. und Pogg. Ann. Deutsch von Kalischer. Berlin 1889 und 90.

1833. Ritchie, Researches on Electro-Magnetism. Phil. Trans. Pogg. Ann. 32.

Dove, Mass und Messen. Berlin. 2. Aufl. 1835.

1834. Gauss, Nachrichten über das magnetische Observatorium in Göttingen. Gött. gel. Anz.

1833—38. Marbach, Populäres physikalisches Lexicon. 3 Bde. Leipzig. 2. Aufl. 6 Bde. Leipzig 1849—59.

1835. Thilorier, Liquéfaction et Solidification de l'acide carbonique. Ann. de Chim. et de Phys. 60. Pogg. Ann. 36.

Poisson, Théorie mathématique de la chaleur. Paris.

Cauchy, Mém. sur la dispersion de la lumière in: Nouveaux exercices de Mathém. Prague 1835—36.

1836. Daniell, On voltaic Combination. Phil. Trans. Pogg. Ann. 42.

1836—41. Gauss und Weber, Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins. 6 Bde. Göttingen.

1837. Pfaff, Revision der Lehre vom Galvano-Voltaismus. Kiel.

Lloyd, On the phenomena presented by light in its passage along the axes of biaxial crystals. Trans. of the Irish Acad. 17. Pogg. Ann. 27.

1837—56. Liebig, Poggendorff und Wöhler, Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. Braunschweig. 2. Aufl. 1856.

1837—41. Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. 4 Bde. Paris.

1838. Steinheil, Über Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte. München.

Boeckh, Metrologische Untersuchungen über Gewichte, Münzfusse und Masse der Alten. Berlin.

1838—43. Wilde, Geschichte der Optik. 2 Bde. Berlin.

1839. Daguerre, Histoire et description des procédés du Daguerréotype et du Diorama. Paris.

1839. Grove, On a new voltaic battery of great energy. Phil. Magazine. Ser. 3, Bd. 5.

1840. Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften. Stuttgart.

1842. Magnus, Über die Ausdehnung der Gase durch die Wärme. Pogg. Ann. 55.

Doppler, Über das farbige Licht der Doppelsterne. Abhandl. der Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften 2. 1843.

1842—46. Guhrauer, Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibniz. Breslau. Mit Nachtrag.

1843—47. Kopp, Geschichte der Chemie. 4 Bde. Braunschweig.

1844. Bähr, Geschichte der römischen Litteratur. 3. Aufl. Karlsruhe.

1845. W. A. Miller, On some cases of lines in the prismatic spectrum produced by the passage of light through coloured vapours. Philos. Mag. 3, S. 27.

1845—58. Humboldt, Kosmos. Stuttgart und Tübingen.

1846. Kaiser, Jets over de Kykers van de gebroeders Christiaan en Constantyn Huygens. Tydschr. van het Kon. Nederl. Instituut.

1847. Regnault, Relation des expériences etc. pour déterminer les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur. Mém. de l'Acad. française des Sc. Paris 21 und 26.

Helmholtz, Die Erhaltung der Kraft. Berlin. Auch wissenschaftliche Abhandlungen. Leipzig 1882, und: Ostwald, Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig 1889.

1848. Harting, Het mikroskop, deszelfs gebruik, geschiedenis en tegenwoordige toestand. Utrecht.

1849. Fizeau, Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière. Compt. rend. 29.

1850 u. folg. Leibnizens mathematische Schriften, herausgegeben von Gerhardt. Berlin.

1850. Schellen, Der elektromagnetische Telegraph in den einzelnen Stadien seiner Entwickelung und seiner gegenwärtigen Ausbildung und Anwendung. Braunschweig.

1852. W. Weber, Elektrodynamische Massbestimmungen, insbesondere Diamagnetismus. Abh. der Kön. Sächs. Gesellsch. der Wissensch.

1854. Foucault, Sur les vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau. Ann. de Chim. et de Phys. 3, S. 41.

— Zeller, Geschichte der Philosophie der Griechen. 2. Aufl. Tübingen.

1854—55. Arago, Oeuvres complètes par J. A. Barral. Bd. 1—3. Paris. Übers. von Hankel. Leipzig.

1856. Albèri, Le opere di Galileo Galilei. Prima edizione completa condotta sugli Autentici Manuscritti Palatini. Firenze.

Karsten, Allgemeine Encyklopädie der Naturwissenschaften. Leipzig. 1. Bd.

1857. Swan, Prismatische Spectra von Kohlenwasserstoffverbindungen. Edinb. Transact. 21. Pogg. Ann. 100.

1858—71. Frisch, Kepleri Opera.

1860. Hamel, Die Entstehung der galvanischen und elektromagnetischen Telegraphie. Bulletin de l'Acad. de St. Petersburg 2.

1860 u. 61. Kirchhoff und Bunsen, Chemische Analyse durch Spectralbeobachtung. Pogg. Ann. 110 und 113.

1861. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente. Abh. der Kön. Akad. der Wissensch. in Berlin.

1862. Förster, Joh. Keppler und die Harmonie der Sphären. Berlin.

Dies, O. von Guericke und sein Verdienst. Magdeburg.

1863. Kirchhoff, Zur Geschichte der Spectralanalyse. Pogg. Ann. 118.

Dub, Die Anwendung des Elektromagnetismus mit besonderer Rücksicht der Telegraphie. Berlin. 2. Aufl. 1883.

Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch. Leipzig.

Liebig, Über Francis Baron von Verulam und die Methode der Naturwissenschaften. München.

1865. Wohlwill, Zur Geschichte der Erfindung und Verbreitung des Thermometers. Pogg. Ann. 124.

Lepsius, Die altägyptische Elle und ihre Einteilung. Abh. der Kön. Akad. der Wissensch. in Berlin.

1866. Hultsch, Metrologicorum scriptorum reliquiae. Lipsiae.

Wundt, Die physikalischen Axiome und ihre Beziehung zum Causalprincip. Erlangen.

1867. Harting, Oude optische werktuigen toegeschreven aan Zacharias Janssen en eene beroemde lens von Chr. Huygens. Album der Natuur.

Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im 17. Jahrhundert. Basel.

Schellen, Das atlantische Kabel, seine Legung und seine Sprechweise. Braunschweig.

1868. Kaiser, Annalen der Sternwarte in Leiden. 1. Bd. Harlem.

1869. Andrews, Continuität der gasigen und flüssigen Zustände der Materie. Philos. Trans. Pogg. Ann. Ergänzungsbd. V. 1871.

de la Saussaye et Péan, La vie et les ouvrages de Denis Papin. Paris et Blois.

1870. Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. Braunschweig.

R. Wolf, Die Erfindung des Fernrohres und ihre Folgen für die Astronomie. Zürich.

Wohlwill, Der Inquisitionsprozess des Galileo Galilei. Berlin.

1872. R. Wolf, Joh. Keppler und Jost Bürgi. Zürich.

Mach, Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Prag.

1873. Günther, Geschichte der Pendeluhr von Huygens. Sitzungsberichte der physik.-medicin. Societät zu Erlangen. Erlangen.

Drechsler, Mitteilungen über die Sammlungen des Königl. mathem. Salons zu Dresden. Dresden.

Lasswitz, Der Verfall der „kinetischen Atomistik" im 17. Jahrh. Pogg. Ann. 153.

1874. F. W. Hoffmann, O. von Guericke, ein Lebensbild, herausgegeben von Opel. Magdeburg.

Grothe, Leonardo da Vinci als Ingenieur und Philosoph. Berlin.

1875 ff. Gerhardt, Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz. Berlin.

1876. von Gebler, Galileo Galilei und die römische Curie. Stuttgart.

Zetzsche, Handbuch der elektrischen Telegraphie. 1. Bd. Leipzig.

Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. Leipzig.

Catalogue of the special Loan Collection of scientific apparatus at the South Kensington Museum. London.

1877. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. 2. Aufl. Leipzig.

Gerhardt, Geschichte der Mathematik in Deutschland. München.

R. Wolf, Geschichte der Astronomie. München.

Gerland, Zur Geschichte der Erfindung des Aräometers. Wied. Ann. 1.

Biedermann, Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate zu London 1876.

Gerland, Über den Erfinder des Tellers der Luftpumpe. Wied. Ann. 2.

Magirus, Das Feuerlöschwesen in allen seinen Teilen. Ulm.

Klopp, Die Werke von Leibniz.

1877 ff. E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwisssenschaften bei den Arabern. Wied. Ann.

v. Gebler, Die Akten des Galileischen Prozesses. Stuttgart.

1878. Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königl. Museum zu Cassel. Cassel.

Gerland, Zur Geschichte der Erfindung der Pendeluhr. Wied. Ann. 4.

Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London 1876 in: A. W. Hofmann, Bericht über die wissenschaftlichen Apparate etc. Braunschweig.

Ryke, Levensschets von W. J. 's Gravesande. Album der Natuur.

1879. Günther, Das leuchtende Barometer. Kosmos 3.

Clausius, Über das Bekanntwerden der Schriften von Robert Mayer. Beilage zu Wied. Ann.

De Félice, Denis Papin. Blois.

Günther, Malagotas und Curtzes neue Forschungen über Copernicus, sein Leben und seine Lehre. Leopoldina 15.

Gerland, Historische Notizen. Wied. Ann. 8.

Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie. Halle a. d. S.

Lasswitz, Die Erneuerung der Atomistik in Deutschland durch D. Sennert und sein Zusammenhang mit Asclepiades von Bithynien. Vierteljahrsschrift für wissensch. Philos. III.

1879 ff. Gerland, Eine Anzahl Aufsätze die Erfindung der Dampfmaschine betreffend in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.

1880. von Hefner-Alteneck, Über die Teilung des elektrischen Lichtes. Elektrotechnische Zeitschrift 1.

Cantor, Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik. Leipzig.

1881. Werner von Siemens, Gesammelte Abhandlungen und Vorträge. Berlin.

Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin, nebst der Biographie Papins. Berlin.

1882. Kramer, Descartes und das Brechungsgesetz des Lichtes. Schlömilch, Zeitschr. für Mathematik und Physik.

Löwenherz, Die Entwickelung der mechanischen Kunst. Verhandlungen der polytechn. Gesellsch. Berlin.

Lasswitz, Die Lehre von den Elementen während des Überganges von der scholastischen Physik zur Corpusculartheorie. Programm. Gotha.

Gerland, Nachtrag zu Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin. Sitzungsber. der Königl. Preuss. Akad. der Wissensch. zu Berlin 44.

1882—84. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit. 2 Bde. Stuttg.

1882 u. 89. Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina 18 u. 25.

1882—90. Rosenberger, Die Geschichte der Physik in Grundzügen, mit synchronistischen Tabellen. 3 Bde. Braunschweig.

1882 ff. Ladenburg, Handwörterbuch der Chemie. Encyklopädie der Naturwissenschaften. Breslau.

1883. van Geer, Het Geboortejaar von Willebrordus Snellius. Album der Natuur.

S. Thompson, Ph. Reis, inventor of the telephone. London.

Offizieller Bericht über die internationale Elektrizitätsausstellung in München. München.

Mach, Die Mechanik in ihrer Entwickelung. Historisch-kritisch dargestellt. Leipzig.

Gerland, Die Erfindung der Feuerspritze mit Windkessel. Glasers Annalen für Gewerbe- und Bauwesen 12.

1883. Gerland, Die Geschichte der Luftpumpe im 17. Jahrhundert. Wied. Ann. 19.

Gerland, Über Otto von Guerickes Leistungen in der Elektrizitätslehre. Elektrotechn. Zeitschrift 4.

1884. Grawinkel, Lehrbuch der Telephonie und Mikrophonie. 2. Aufl. Berlin.

Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschr. für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft.

van Geer, Willebrordus Snellius. Album der Natuur.

Hoppe, Geschichte der Elektrizität. Leipzig.

1885. Quincke, Geschichte des physikalischen Instituts der Universität Heidelberg. Heidelberg.

Gerland, Das Thermometer. Virchow & Holtzendorff, Sammlung gemeinverst. wissensch. Vorträge 20. S. 470. Hft.

1886. Gerland, Über Amontons Leistungen in der Thermometrie und seine Entdeckung des absoluten Nullpunktes der Temperatur. Festschr. des Vereins für Naturkunde in Kassel. Zeitschr. für Instrumentenkunde 8.

Kopp, Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit. Heidelberg.

Löwenherz, Zur Geschichte der Entwickelung der mechanischen Kunst. Zeitschr. für Instrumentenkunde 6.

Servus, Geschichte des Fernrohrs bis auf die neueste Zeit. Berlin.

Momber, D. G. Fahrenheit. Altpreuss. Monatsschrift 24.

Hammer, Die erste deutsche Dampfmaschine (2 Abhandlungen). Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 30.

Lasswitz, Zur Genesis der Cartesischen Corpuscularphysik. Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie 10.

1887. von Urbanitzky, Elektrizität und Magnetismus im Altertum. Wien, Pest, Leipzig.

Ladenburg, Vorträge über die Entwickelungsgeschichte der Chemie. 2. Aufl. Braunschweig (1. Aufl. 1880).

Hoppe, Entwickelung der Lehre von der Elektrizität bis auf Hawksbee. Hamburg.

1887 u. 88. R. Wolf, Astronomische Mitteilungen. Züricher Vierteljahrsschrift.

1888. Crookes, Die Genesis der Elemente. Braunschweig.

1888. Melde, Chladnis Leben und Wirken. 2. Aufl. Marburg.
Günther, Joh. Keppler und der tellurisch-kosmische Magnetismus. Geogr. Abhandl. 3. Wien.

1888 ff. Christiaan Huygens, Oeuvres complètes, publiées par la Société Hollandaise des Sciences. La Haye.

1889. von Meyer, Geschichte der Chemie. Leipzig.
Epping, Astronomisches aus Babylon. Freiburg i. Br.

1890. Fink, Kurzer Abriss einer Geschichte der Elementarmathematik. Tübingen.

Momber, D. G. Fahrenheit. Schriften der naturforsch. Gesellschaft zu Danzig 7.

Hellmann, Die Anfänge der meteorologischen Beobachtungen und Instrumente. Himmel und Erde 2.

E. Wiedemann, Über das Licht der Sterne nach Ibn al Haitham. Wochenschr. für Astron., Meteorol. und Geogr. 17.

Lasswitz, Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton. 2 Bde. Hamburg.

1891 ff. Winkelmann, Handbuch der Physik. Encyklopädie der Naturwissenschaften. Breslau.

---

# Namen- und Sachregister.

(Die Ziffern bedeuten die Seiten.)



Druck von J. J. Weber in Leipzig.

# Verlag von J. J. Weber in Leipzig.

# Das Tierleben der Alpenwelt.

**Naturansichten und Tierzeichnungen aus dem schweizerischen Gebirge. Von Dr. Fr. v. Tschudi. Elfte, durchgesehene Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. C. Keller. Mit Tschudis Porträt in Stahlstich und 27 Illustrationen von E. Rittmeyer und W. Georgy.**

**7 Mark 50 Pf. In Original-Leinenband 9 Mark.**

## Inhaltsverzeichnis:



---

Der im Jahre 1886 dahingeschiedene Friedrich von Tschudi schuf in seinem „Tierleben der Alpenwelt“ eine Zierde der deutschen Litteratur und sein Werk ist ein Volksbuch im allerbesten Sinne des Wortes geworden. Der Verfasser vereinigte in seltener Weise eine ungewöhnliche Feinheit der Naturbeobachtung mit einer echt künstlerischen Auffassung seines Gegenstandes, der großartigen Alpennatur. In klaren und kecken Zügen entwarf er ein unübertroffenes Gesamtbild des schweizerischen Gebirgslebens, und wo er im Detail verweilt, da vermag er mit wunderbarer Treue die lokalen Nuancierungen hervorzuzaubern. Die Darstellung bewegt sich im Gewande einer edeln und wahrhaft klassischen Sprache; Tschudis Buch hat daher überall Anklang gefunden, den erfahrenen Alpenwanderer stets gefesselt und besonders die reifere Jugend begeistert.

Es erschien als ein Gebot der Pietät, die Eigenart eines solchen Werkes zu schonen und zu erhalten. Daher ist auch in dieser neuen Auflage die Anordnung des Stoffes unverändert geblieben, denn diese trägt wesentlich zum Reiz des Werkes bei. Dagegen hat der Herausgeber den Inhalt der neuen Auflage durch eine Reihe von Anmerkungen überall der Gegenwart angepaßt, denn seit dem Erscheinen der vorigen Auflage haben sich einzelne Anschauungen stark verändert und bemerkenswerte neue Ergebnisse mußten berücksichtigt werden. Die Änderungen im Texte selbst sind auf das Notwendigste beschränkt und betreffen nur thatsächliche Dinge. Als Konzessionen an die Gegenwart dürften sie die Originalität des Tschudischen Werkes nicht beeinträchtigen.

# Verlag von J. J. Weber in Leipzig.

**Cotta, Professor Bernhard von, Beiträge zur Geschichte der** Geologie. Erste Abteilung: Geologisches Repertorium. 9 Mark.

——— **Die Geologie der Gegenwart, dargestellt und beleuchtet.** Mit 8 Abbildungen und einer Tafel in Farbendruck. Fünfte, umgearbeitete Auflage. Geheftet 8 Mark, gebunden 9 Mark.

——— **Geologische Bilder. Mit 228 Abbildungen. Sechste,** vermehrte und verbesserte Auflage. Geheftet 5 Mark, gebunden 6 Mark 50 Pfg.

**Drechsler, Dr. Adolph, Das Wetterglas. Vademecum der** Witterungskunde. Mit 30 Abbildungen. 2 Mark.

——— **Illustriertes Lexikon der Astronomie und der Chrono-**logie, nebst den astrognostischen und astrologischen Benennungen und den zugehörigen Bezeichnungen aus anderen Wissenszweigen. Mit 180 Figuren und Abbildungen. Gebunden 6 Mark.

**Flammarion, Camille, Das bewohnte Welten-All. Astrono-**mische und philosophische Betrachtungen. Deutsche, vom Verfasser autorisierte Ausgabe von Dr. A. Drechsler. Zweite Auflage. Mit 6 astronomischen Tafeln. Geheftet 4 Mark, gebunden 5 Mark.

**Garten, Der Zoologische. Ein Großfolio-Heft mit 94 Ab-**bildungen auf 56 Tafeln und 4 Seiten Text: Gesamtübersicht über das Tierreich. 2 Mark.

**Klencke, Dr. H., Mikroskopische Bilder. Naturansichten** aus dem kleinsten Raume. Ein Gemälde des Mikrokosmus in seinen Gestalten und Gesetzen. Mit 430 mikroskopischen Figuren. 7 Mark 50 Pfg.

——— **Naturbilder aus dem Leben der Menschheit. In** Briefen an Alexander von Humboldt. 4 Mark 50 Pfg.

**Lecoq, Professor Henri, Das Leben der Blumen. Aus dem** Französischen übertragen von Dr. Ernst Hallier. Autorisierte Ausgabe. 4 Mark 50 Pfg.

**Michelet, J., Das Meer. Deutsche autorisierte Ausgabe,** übersetzt von Fr. Spielhagen. Geheftet 5 Mark, gebunden 6 Mark.

**Quinet, Edgar, Die Schöpfung. Deutsche autorisierte Aus-**gabe. Durchgesehen und eingeführt von Bernhard von Cotta. Mit dem Stahlstich-Porträt des Verfassers. Zwei Bände. Geheftet 9 Mark, gebunden 12 Mark.

**Valentiner, Professor Dr. W., Astronomische Bilder. Mit** 4 Tafeln und 125 Abbildungen. Gebunden 12 Mark.



